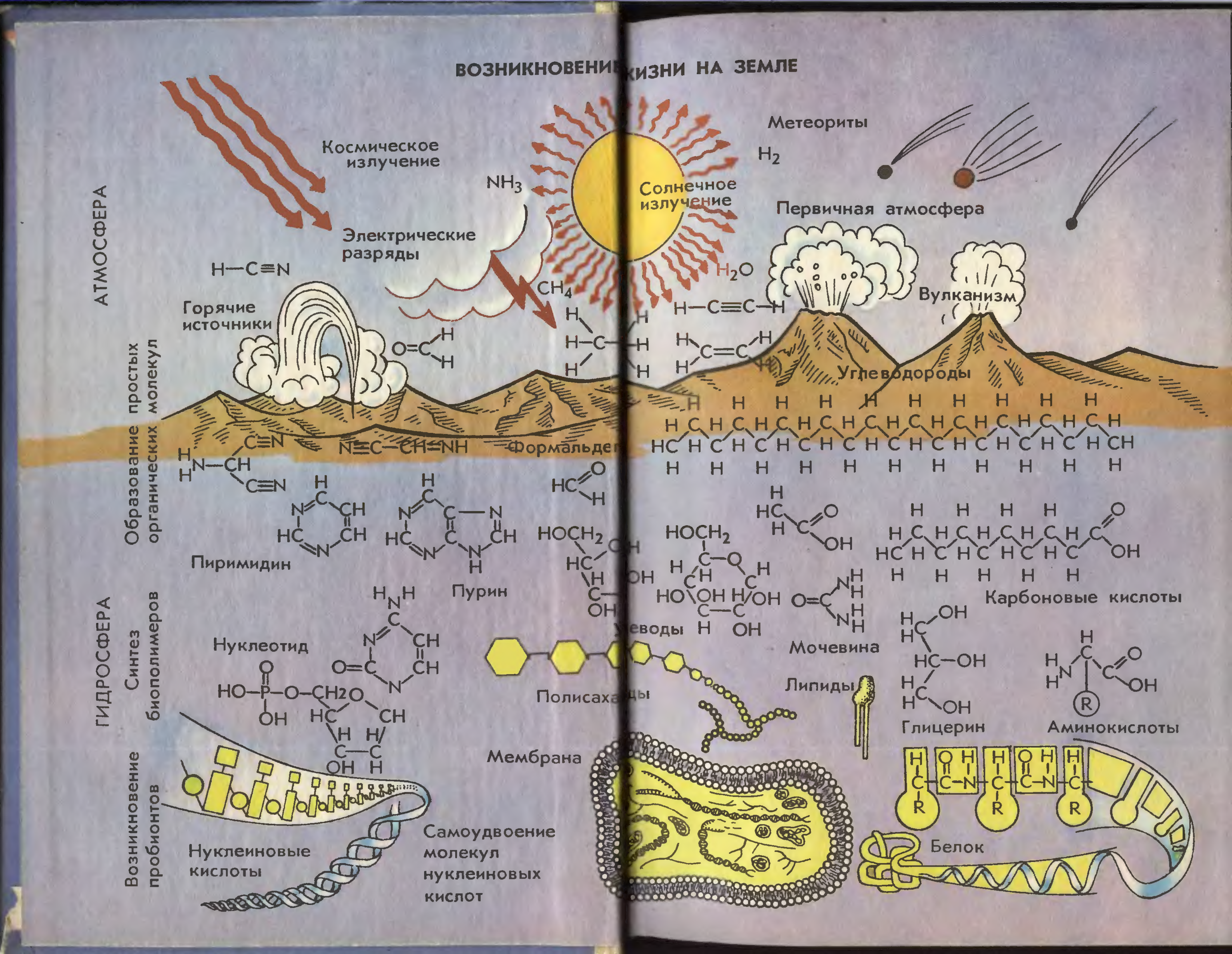
ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ





ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ
Космическое излучение
Электрические разряды
Солнечное излучение
Метеориты
Первичная атмосфера
Вулканизм
Горячие источники
Углеводороды
Формальдегид
Пиримидин
Пурин
Углеводы
Мочевина
Карбоновые кислоты
Нуклеотид
Полисахариды
Липиды
Глицерин
Аминокислоты
Мембрана
Белок
Нуклеиновые кислоты
Самоудвоение молекул нуклеиновых кислот
АТМОСФЕРА
ГИДРОСФЕРА
Образование простых органических молекул
Синтез биополимеров
Возникновение пробионтов

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Учебник
для 10 — 11 классов
средней школы

Под редакцией академика АН СССР Д. К. Беляева
и профессора А. О. Рувинского

Утверждено
Государственным комитетом СССР
по народному образованию

МОСКВА
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»
1991

ББК 28.0я72
О-28

Авторы:
Д. К. Беляев, А. О. Рувинский, Н. Н. Воронцов, Е. В. Грунтенко, Г. М. Дымшиц, Ю. Я. Керкис, С. С. Красновидова, З. С. Никоро, Р. И. Салганик, А. А. Титлянова, Н. Б. Христолюбова

Работа между авторами распределилась следующим образом: академик АН СССР Д. К. Беляев написал Введение и гл. IX; проф. А. О. Рувинский и канд. биол. наук З. С. Никоро — гл. VII, VIII (темы «Наследственная изменчивость человека» и «Лечение и предупреждение некоторых наследственных болезней человека» написали совместно проф. А. О. Рувинский и проф. Ю. Я. Керкис); гл. X и XI принадлежат А. О. Рувинскому; гл. XII, XIII — проф. Н. Н. Воронцову; докт. биол. наук Е. В. Грунтенко раскрыл тему «Организм как единое целое»; канд. биол. наук Г. М. Дымшиц написал гл. IV, XII; канд. биол. наук С. С. Красновидова — гл. XIV; чл.-кор. АН СССР Р. И. Салганик — гл. I, III; докт. биол. наук А. А. Титлянова — гл. XV, XVI, XVII; докт. биол. наук Н. Б. Христолюбова — гл. II, V, VI (тема «Зародышевое развитие организмов»).

Общая биология: Учеб. для 10 — 11 кл. сред. шк./
О-28 Д. К. Беляев, А. О. Рувинский, Н. Н. Воронцов и др.; Под ред. Д. К. Беляева, А. О. Рувинского. — М.: Просвещение, 1991. — 271 с.: ил. — ISBN 5-09-003365-X.

О $\frac{4306021000—266}{103(03)—91}$ инф. письмо—91, № 112 в ББК 28.0я72

ISBN 5-09-003365-X

КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ УЧЕБНИКОМ

Ознакомьтесь с оглавлением учебника — вам будет понятно его построение, расположение параграфов по главам.

Изучая учебник, рассматривайте в нем рисунки, фотографии и схемы. Обращайте внимание на выделение терминов *курсивом* — это поможет лучше запомнить изучаемый материал.

На полях учебника в конце параграфов вы увидите символические знаки. Знак ? помещен рядом с вопросами, предназначенными для проверки усвоенных знаний; знак ▶ указывает на задания творческого характера, которые предлагают вам осмыслить изученное; знак ▶ обозначает задачи; знак ○ — это задания на повторение из курсов ботаники, зоологии, анатомии, физиологии и гигиены человека, а также из учебных пособий и справочных книг (например, «Биология. Справочные материалы», книги для чтения по ботанике, зоологии, анатомии, физиологии и гигиене человека). Это поможет лучшему усвоению и закреплению пройденного на уроках.

Внимательно рассмотрите форзацы учебника. На них будут ссылки в тексте.

В конце учебника помещены справочные сведения, которые помогут более глубокому пониманию общей биологии, и указатель основных биологических терминов, по которому всегда можно найти те страницы книги, где объясняется какой-либо термин или понятие. Указатель помогает ориентироваться в книге, а значит, лучше понимать учебный предмет.

Пользуясь учебником, будьте аккуратны. Не перегибайте книгу, бережно перелистывайте страницы. Этот учебник еще будет служить вашим младшим товарищам.

ВВЕДЕНИЕ

Биология — наука о живой природе и закономерностях, ею управляющих. Биология изучает все проявления жизни, строение и функции живых существ, а также их сообществ. Она выясняет происхождение, распространение и развитие живых организмов, связи их друг с другом и с неживой природой.

Живому миру характерно необычайное разнообразие. В настоящее время обнаружено и описано примерно 500 тыс. видов растений и более 1 млн. видов животных, более 3 тыс. видов бактерий и сине-зеленых водорослей, сотни тысяч грибов. Число еще не описанных видов оценивается по меньшей мере в 1—2 млн. Выявление и объяснение общих явлений и процессов для всего многообразия организмов — задача общей биологии.

Основные признаки живого. Каждый организм представляет собой *совокупность упорядоченно взаимодействующих структур,* образующих единое целое, т. е. является *системой.* Живые организмы обладают признаками, которые отсутствуют у большинства неживых систем. Однако среди этих признаков нет ни одного такого, который был бы присущ только живому. Возможный способ описать жизнь — это перечислить основные свойства живых организмов.

1. Одна из наиболее примечательных особенностей живых организмов — это их *сложность и высокая степень организации.* Они характеризуются усложненным внутренним строением и содержат множество различных сложных молекул.

2. Любая составная часть организма имеет *специальное назначение и выполняет определенные функции.* Это относится не только к органам (почки, легкие, сердце и т. д.), но и к микроскопическим структурам и молекулам.

3. Живые организмы *обладают способностью извлекать, преобразовывать и использовать* энергию окружающей среды — либо в форме органических питательных веществ, либо в виде энергии солнечного излучения. Благодаря этой энергии и веществам, поступающим из окружающей среды, организмы поддерживают свою целостность (упорядоченность) и осуществляют различные функции, возвращают же в природу продукты распада и преобразованную энергию в виде тепла, т. е. *организмы способны к обмену веществом и энергией.*

4. Организмы *способны специфически реагировать на изменения окружающей среды.* Способность реагировать на внешнее раздражение — универсальное свойство живого.

5. Живые организмы *хорошо приспособлены к среде обитания.* Они прекрасно соответствуют своему образу жизни. Достаточно ознакомиться со строением крота, рыбы, паразитического червя, чтобы представить в общих чертах, как они живут. Особенности строения, функций и поведения данного организма, отвечающие его образу жизни, называются *адаптациями (приспособлениями).*

6. Самая поразительная особенность живых организмов — *способность к самовоспроизведению,* т. е. *размножению.* Потомство всегда сходно с родителями. Таким образом, существуют механизмы передачи информации о признаках, свойствах и функциях организмов из поколения в поколение. В этом проявляется *наследственность.* Как установлено, механизмы передачи наследственных свойств одинаковы для всех видов. Однако сходство родителей и потомков никогда не бывает полным: потомки, будучи похожи на родителей, всегда в чем-то отличаются от них. В этом состоит явление *изменчивости,* основные законы которой также общие для всех видов. Таким образом, живым организмам свойственны размножение, наследственность и изменчивость.

7. Для живого характерна *способность к историческому развитию* и изменению от простого к сложному. Этот процесс называют *эволюцией.* В результате эволюции возникло все многообразие живых организмов, приспособленных к определенным условиям существования (см. форзац II).

Уровни организации жизни. Для живой природы характерны разные уровни организации ее структур, между которыми существует сложное соподчинение. Жизнь на каждом уровне изучают соответствующие отрасли биологии.

Самый нижний, наиболее древний уровень — это *уровень молекулярных структур* жизни. Здесь проходит граница между живым и неживым. Выше лежит *клеточный уровень* жизни. И клетка, и заключенные в ней молекулярные структуры в главных чертах строения у всех организмов сходны.

Органно-тканевый уровень характерен только для многоклеточных организмов, у которых клетки и образованные из них части организма достигли высокой степени структурной и функциональной специализации.

Следующий уровень — это *уровень целостного организма.* Как бы ни различались организмы между собой, их объединяет то, что они все состоят из клеток.

Вид, объединяющий принадлежащие ему организмы, составляет *более сложный уровень организации жизни.* Здесь действуют свои законы — законы внутривидовых отношений организмов.

Наконец, еще более высоким уровнем является *уровень биоценозов,* т. е. сообществ всех видов, населяющих ту или иную территорию или акваторию. На этом уровне действуют законы межвидовых отношений.

Совокупность всего живого, населяющего Землю, составляет *биосферу.* Это *высший уровень* организации жизни. Законы, характерные для более высоких уровней организации живого мира, не исключают действия законов, присущих более низким уровням.

Общая биология изучает законы, характерные для всех уровней организации жизни.

Методы изучения биологии. Для изучения живой природы биологи применяют различные методы. *Наблюдение* позволяет выявить объекты и явления. *Сравнение* дает возможность устано-

вить закономерности, общие для разных явлений в живой природе. В *эксперименте* или в *опыте* создается ситуация, помогающая выявить те или иные свойства биологических объектов. *Исторический метод* позволяет на основе данных о современном органическом мире и его прошлом познавать процессы развития живой природы. Кроме этих основных методов применяется много других.

При изучении биологических объектов используется самая различная техника: микроскопы, ультрацентрифуги, разнообразные химические анализаторы, компьютеры и множество других приборов, позволяющих раскрыть тайны живой материи. Свой вклад в изучение биологии вносят специалисты, казалось бы, далекие от биологии: химики, физики, математики, инженеры и многие другие.

Значение биологии. Биология решает важнейшие практические задачи. Одна из них — производство продовольствия. Для того чтобы обеспечить питанием все увеличивающееся население нашей планеты, необходимо иметь высокопродуктивные сорта сельскохозяйственных растений и породы животных, а также совершенные методы их выращивания. Эти проблемы нельзя решить, не зная законов биологии, прежде всего законов наследственности, и не опираясь на них в агрономии и зоотехнии.

Очень важна задача разработки методов предупреждения и лечения болезней человека, особенно таких тяжелых, как сердечно-сосудистые, злокачественные образования. Решение этой задачи требует глубокого исследования жизненных процессов и механизмов, ими управляющих, как в отдельных клетках, так и в организмах.

Важнейшая задача нашего времени, которая встала перед человечеством, — охрана природы и приумножение ее богатств. Эта задача продиктована тем, что под влиянием хозяйственной деятельности человека идет процесс загрязнения окружающей среды, вследствие чего происходит сокращение численности и даже гибель видов животных и растений. Загрязнение окружающей среды отрицательно влияет на здоровье человека.

Остановить развитие промышленности и рост городов невозможно. Но совершенно необходимо предотвратить угрозу, которую несет этот процесс природе и самому человеку, что также требует глубокого знания законов общей биологии.

Биология внесла большой вклад в формирование материалистического мировоззрения, хотя идеалистические представления о природе еще продолжают жить. Важным условием противодействия им является знание естественных законов жизни организмов.

Прогресс биологии в XX в., ее возросшая роль среди других наук и для существования человечества определяют и ее значительно более высокий уровень сравнительно с тем, какой она имела 20—30 лет назад. По уровню биологических исследований можно судить о материально-техническом развитии общества, так как биология становится реальной производительной силой, а также научной основой рациональных отношений между человеком и природой.

Раздел I.
КЛЕТКА — ЕДИНИЦА ЖИВОГО

Глава I.
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛЕТКИ

В живых организмах содержится большое количество химических элементов. Они образуют два класса соединений — органические и неорганические.

Химические соединения, основой строения которых являются атомы углерода, составляют отличительный признак живого. Эти соединения называются *органическими*. Органические соединения чрезвычайно многообразны, но только четыре класса их имеют всеобщее биологическое значение: белки, нуклеиновые кислоты, углеводы и липиды.

§ 1. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Биологически важные химические элементы. Из известных нам 110 химических элементов в состав клеток живых организмов входят только 24. Набор этих элементов не случаен. Жизнь зародилась в водах мирового океана, и живые организмы состоят преимущественно из тех элементов, которые образуют легко растворимые в воде соединения. Большинство таких элементов принадлежит к числу легких, их особенностью является способность вступать в прочные (ковалентные) связи и образовывать множество сложных и разнообразных молекул.

В составе клеток человеческого тела преобладают водород (более 60%), кислород (около 25%) и углерод (около 10%). На азот, кальций, фосфор, хлор, калий, серу, натрий, магний, вместе взятые, приходится менее 3%. Остальные 13 элементов составляют не более 0,1%. Сходный элементарный состав имеют клетки большинства животных; отличаются лишь клетки растений и микроорганизмов. Даже те элементы, которые в клетках содержатся в ничтожно малых количествах, ничем не могут быть заменены и совершенно необходимы для жизни. Так, содержание иода в клетках не превышает 0,01%. Однако при недостатке его в почве (из-за этого и в пищевых продуктах) задерживается рост и развитие детей, живущих в районах земного шара, где в почве не хватает иода. Содержание меди в клетках животных не превышает 0,0002%. Но при недостатке меди в почве (отсюда и в растениях) возникают массовые заболевания сельскохозяйственных животных.

Значение для клетки основных элементов приведено в конце этого параграфа.

Неорганические (минеральные) соединения. В состав живых клеток входит ряд относительно простых соединений, которые встречаются и в неживой природе — в минералах, природных водах. Это *неорганические соединения.*

Вода — одно из самых распространенных веществ на Земле. Она покрывает большую часть земной поверхности. Почти все живые существа состоят в основном из воды. У человека содержание воды в различных органах и тканях варьирует от 20% (в костной ткани) до 85% (в головном мозге). Около 2/3 массы человека составляет вода, в организме медузы до 95% воды, даже в сухих семенах вода составляет 10—12%.

Вода обладает некоторыми уникальными свойствами. Свойства эти настолько важны для живых организмов, что нельзя представить жизнь без этого соединения водорода и кислорода.

Уникальные свойства воды определяются структурой ее молекул. В молекуле воды один атом кислорода ковалентно связан с двумя атомами водорода (рис. 1). Молекула воды полярна (диполь). Положительные заряды сосредоточены у атомов водорода, так как кислород электроотрицательнее водорода.

:Ö·*H или :Ö—H
H H

Рис. 1. Структура молекулы воды:

звездочками обозначены электроны атома кислорода, а точками — электроны атомов водорода

Отрицательно заряженный атом кислорода одной молекулы воды притягивается к положительно заряженному атому водорода другой молекулы с образованием *водородной связи* (рис. 2).

По прочности водородная связь примерно в 15—20 раз слабее ковалентной связи. Поэтому водородная связь легко разрывается, что наблюдается, например, при испарении воды. Вследствие теплового движения молекул в воде одни водородные связи разрываются, другие образуются.

Таким образом, в жидкой воде молекулы подвижны, что немало-

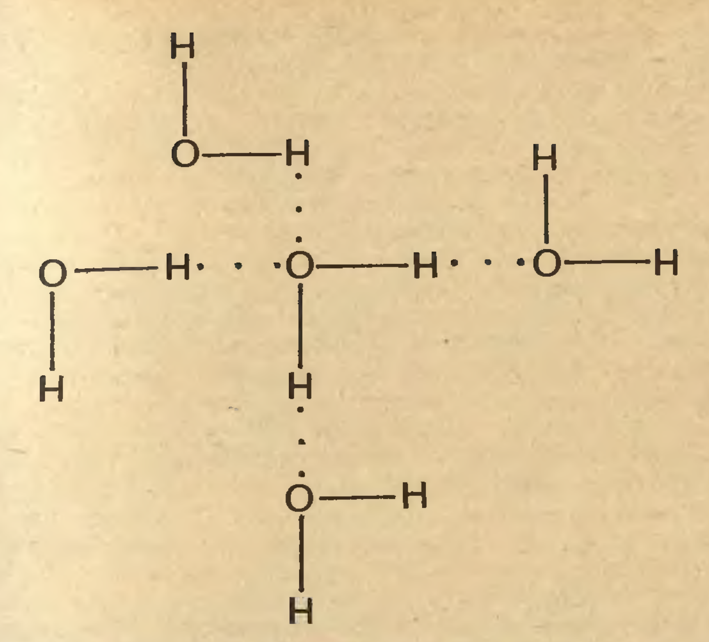


Рис. 2. Образование водородных связей в воде (сплошные линии — ковалентные связи, пунктирные — водородные)

важно для процессов обмена веществ. Молекулы воды легко проникают через клеточные мембраны.

Из-за высокой полярности молекул вода является растворителем других полярных соединений, не имея себе равных. В воде растворяется больше веществ, чем в любой другой жидкости. Именно поэтому в водной среде клетки осуществляется множество химических реакций. Вода растворяет продукты обмена веществ и выводит их из клетки и организма в целом.

Вода обладает большой теплоемкостью, т. е. способностью поглощать теплоту при минимальном изменении собственной температуры. Благодаря этому она предохраняет клетку от резких изменений температуры. Поскольку на испарение воды расходуется много теплоты, то испаряя воду, организмы могут защищать себя от перегрева (например, при потоотделении).

Вода обладает высокой теплопроводностью. Такое свойство создает возможность равномерного распределения теплоты между тканями тела.

Вода служит «смазочным» материалом, необходимым везде, где есть трущиеся поверхности (например, в суставах).

Вода имеет максимальную плотность при 4°С. Поэтому лед, обладающий меньшей плотностью, легче воды и плавает на ее поверхности, что защищает водоем от промерзания. Это свойство воды спасает жизнь многим водным организмам.

По отношению к воде все вещества клетки разделяются на две группы: гидрофильные и гидрофобные (от греч. «гидр» и «филео» — любящий воду, «гидр» и «фобос» — боящийся воды). К гидрофильным относятся вещества, хорошо растворимые в воде. Это соли, сахара, аминокислоты. Гидрофобные вещества, напротив, в воде практически нерастворимы. К ним относятся, например, жиры.

Клеточные поверхности, отделяющие клетку от внешней среды, и некоторые другие структуры состоят из водонерастворимых (гидрофобных) соединений. Благодаря этому сохраняется структурная целостность клетки. Образно клетку можно представить в виде сосуда с водой, где протекают биохимические реакции, обеспечивающие жизнь. Стенки этого сосуда не растворимы в воде. Однако они способны избирательно пропускать водорастворимые соединения.

Помимо воды, в числе неорганических веществ клетки нужно назвать *соли*, представляющие собой ионные соединения. Они образованы катионами калия, натрия, магния и иных металлов и анионами соляной, угольной, серной, фосфорной кислот. При диссоциации таких солей в растворах появляются катионы (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} и др.) и анионы (Cl^-, HCO_3^-, HSO_4^- и др.). Концентрация ионов на внешней поверхности клетки отличается от их концентрации на внутренней поверхности. Разное число ионов калия и натрия на внутренней и внешней поверхности клетки создает разность зарядов на мембране. На внешней поверхности клеточной мембраны очень высокая концентрация ионов натрия, а на внутренней поверхности очень высокая концентрация ионов калия и низкая — натрия. Вследствие этого образуется разность потенциалов между внутренней и внешней поверхностью клеточной мембраны, что обусловливает передачу возбуждения по нерву или мышце.

Ионы кальция и магния являются активаторами многих ферментов, и при недостатке их нарушаются жизненно важные процессы в клетках. Ряд важных функций выполняют в живых организмах неорганические кислоты и их соли. Соляная кислота создает кислую среду в желудке животных и человека и в специальных органах насекомоядных растений, ускоряя переваривание белков пищи. Остатки фосфорной кислоты (H_3PO_4), присоединяясь к ряду ферментных и иных белков клетки, изменяют их физиологическую активность. Остатки серной кислоты, присоединяясь к нерастворимым в воде чужеродным веществам, придают им растворимость и способствуют таким образом выведению их из клеток и организмов. Неорганические натриевые и калиевые соли азотистой и фосфорной кислот, кальциевая соль серной кислоты служат важными составными частями минерального питания растений, их вносят в почву как удобрения для подкормки растений. Более подробно значение для клетки химических элементов приведено ниже.

Биологически важные химические элементы клетки

Элемент и его символ	Значение для клетки
Водород — H	Входит в состав воды и биологических веществ
Бор — B	Необходим некоторым растениям
Углерод — C	Входит в состав биологических веществ
Азот — N	Структурный компонент белков и нуклеиновых кислот
Кислород — O	Входит в состав воды и биологических веществ
Фтор — F	Входит в состав эмали зубов
Натрий — Na	Главный внеклеточный положительный ион
Магний — Mg	Активирует образование многих ферментов; структурный компонент хлорофилла
Фосфор — P	Входит в состав костной ткани, нуклеиновых кислот
Сера — S	Входит в состав белков и многих других биологических веществ
Хлор — Cl	Преобладающий отрицательный ион в организме животных
Калий — K	Преобладающий положительный ион внутри клеток
Кальций — Ca	Основной компонент костей и зубов; активирует сокращение мышечных волокон
Марганец — Mn	Необходим организмам в следовых количествах
Железо — Fe	Входит в состав многих органических веществ
Кобальт — Co	Входит в состав витамина B_{12}
Медь — Cu	Необходим организмам в следовых количествах (обнаружен в составе некоторых ферментов)
Цинк — Zn	Необходим организмам в следовых количествах (обнаружен в некоторых ферментах и инсулине)
Иод — I	Входит в состав гормона щитовидной железы

? 1. Какова биологическая роль воды в клетке?
? 2. Какие ионы содержатся в клетке? Какова их биологическая роль?
? 3. Какую роль играют содержащиеся в клетке катионы?

§ 2. БИОПОЛИМЕРЫ. УГЛЕВОДЫ, ЛИПИДЫ

В состав клеток входит множество органических соединений: углеводы, белки, липиды, нуклеиновые кислоты и другие соединения, которых нет в неживой природе. Органическими веществами называют химические соединения, в состав которых входят атомы *углерода*.

Атомы углерода способны вступать друг с другом в прочную ковалентную связь, образуя множество разнообразных цепных или кольцевых молекул.

Самыми простыми углеродсодержащими соединениями являются *углеводороды,* соединения, которые содержат только углерод и водород. Однако в большинстве органических, т. е. углеродных соединений, содержатся и другие элементы (кислород, азот, фосфор, сера).

Биологические полимеры (биополимеры). Биологические полимеры — это органические соединения, входящие в состав клеток живых организмов.

Полимер (от греч. «поли» — много) — многозвеньевая цепь, в которой звеном является какое-либо относительно простое вещество — *мономер.* Мономеры, соединяясь между собой, образуют цепи, состоящие из тысяч мономеров. Если обозначить тип мономера определенной буквой, например А, то полимер можно изобразить в виде очень длинного сочетания мономерных звеньев: А—А—А—А—...А. Это, например, известные вам органические вещества крахмал, гликоген, целлюлоза и др. Биополимерами являются белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды.

Свойства биополимеров зависят от строения их молекул: от числа и разнообразия мономерных звеньев, образующих полимер.

Если соединить вместе два типа мономеров А и Б, то можно получить очень большой набор разнообразных полимеров. Строение и свойства таких полимеров будут зависеть от числа, соотношения и порядка чередования, т. е. положения мономеров в цепях. Полимер, в молекуле которого группа мономеров периодически повторяется, называют *регулярным.* Таковы, например, схематически изображенные полимеры с закономерным чередованием мономеров:

...А Б А Б А Б А Б...
...А А Б Б А А Б Б...
...А Б Б А Б Б А Б Б А...

Однако значительно больше можно получить вариантов полимеров, в которых нет видимой закономерности в повторяемости мономеров. Такие полимеры называют *нерегулярными.*

Допустим, что каждый из мономеров определяет какое-либо свойство полимера. Например, мономер А определяет высокую прочность, а мономер Б — электропроводность. Сочетая эти два мономера в разных соотношениях и по-разному чередуя их, можно получить огромное число полимерных материалов с разными свойствами. Если же взять не два типа мономеров (А и Б), а больше, то и число вариантов полимерных цепей значительно возрастет.

Оказалось, что сочетание и перестановка нескольких типов мономеров в длинных полимерных цепях обеспечивают построение множества вариантов и определяют различные свойства биополимеров, входящих в состав всех организмов. Этот принцип лежит в основе многообразия жизни на нашей планете.

Углеводы и их строение. В составе клеток всех живых организмов широкое распространение имеют *углеводы.* Углеводами называют органические соединения, состоящие из углерода, водорода и

$C_6H_{12}O_6$



Рис. 3. Строение молекулы глюкозы



Рис. 4. Участок ветвящейся полимерной молекулы крахмала

кислорода. В углеводах водород и кислород находятся, как правило, в тех же соотношениях, что и в воде (отсюда их название — углевод). Общая формула углеводов $C_n(H_2O)_m$. Примером может служить один из самых распространенных углеводов — *глюкоза,* элементный состав которой $C_6H_{12}O_6$ (рис. 3). Глюкоза является *простым сахаром.* Несколько остатков простых сахаров соединяются между собой и образуют сложные сахара. В составе молока находится молочный сахар (дисахарид), который состоит из остатков молекул двух простых сахаров. Молочный сахар — основной источник энергии для детенышей всех млекопитающих.

Тысячи остатков молекул одинаковых сахаров, соединяясь между собой, образуют биополимеры — полисахариды. В составе живых организмов имеется много разнообразных полисахаридов; у растений это *крахмал* (рис. 4), у животных — *гликоген.* Все они состоят из тысяч молекул глюкозы. Крахмал и гликоген играют роль как бы аккумуляторов энергии, необходимой для жизнедеятельности клеток и организма. Очень богаты крахмалом пшеница, рожь, кукуруза и др.

Функции углеводов. В пищеварительном тракте человека и животных крахмал расщепляется особыми белками до глюкозы. Глюкоза, всасываясь из кишечника в кровь, окисляется в клетках с освобождением энергии химических связей, а избыток ее запасается в клетках печени и мышц в виде гликогена. В периоды интенсивной мышечной работы или нервного напряжения (либо при голодании) в мышцах и печени животных расщепление гликогена усиливается. При этом образуется глюкоза, которая потребляется интенсивно работающими мышечными и нервными клетками.

Таким образом, биополимеры полисахариды — это вещества, в которых *запасается* используемая клетками энергия растительных и животных организмов. Однако это не единственная функция полисахаридов.

В растениях в результате полимеризации глюкозы образуется также целлюлоза. Из целлюлозных волокон строится прочная основа клеточных стенок растений. Благодаря особому строению

целлюлоза не растворима в воде и обладает высокой прочностью. По этой причине целлюлозу используют и для изготовления тканей. Ведь хлопок — почти чистая целлюлоза. В кишечнике человека и большинства животных нет ферментов, способных расщеплять связи между молекулами глюкозы, входящими в состав целлюлозы. У жвачных животных целлюлозу расщепляют ферменты бактерий, постоянно обитающих в специальном отделе желудка.

Известны также сложные полисахариды, состоящие из двух типов простых сахаров, которые регулярно чередуются в длинных цепях. Такие полисахариды выполняют структурные функции в опорных тканях животных. Они входят в состав межклеточного вещества кожи, сухожилий, хрящей, придавая им прочность и эластичность. Таким образом, второй важной функцией углеводных биополимеров является их *структурная* функция.

Имеются полимеры сахаров, которые входят в состав клеточных мембран; они обеспечивают взаимодействие клеток одного типа, узнавание клетками друг друга. Если разделенные клетки печени смешать с клетками почек, то они самостоятельно разойдутся в две группы благодаря взаимодействию однотипных клеток: клетки почек соединятся в одну группу, а клетки печени — в другую. Утрата способности узнавать друг друга характерна для злокачественных клеток. Выяснение механизмов узнавания и взаимодействия клеток может иметь очень важное значение, в частности, для разработки средств лечения рака.

Липиды. Липиды разнообразны по структуре. Всем им присуще, однако, одно общее свойство: все они неполярны. Поэтому они растворяются в таких неполярных жидкостях, как хлороформ, эфир, но практически нерастворимы в воде. К липидам относятся и жиры. В клетке при окислении жиров образуется большое количество энергии, которая расходуется на различные процессы. В этом заключается энергетическая функция жиров.

Жиры могут накапливаться в клетках и служить запасным питательным веществом. У некоторых животных (например, у китов, ластоногих) под кожей откладывается толстый слой подкожного жира, который благодаря низкой теплопроводности защищает их от переохлаждения.

Некоторые липиды являются гормонами и принимают участие в регуляции физиологических функций организма. Липиды, содержащие фосфор (фосфолипиды), служат важнейшей составной частью клеточных мембран, т. е. они выполняют структурную функцию.

? 1. Охарактеризуйте строение молекул углеводов в связи с их функциями в клетке.

? 2. Укажите функции каждого из перечисленных веществ в организме: глюкоза, целлюлоза, крахмал, гликоген.

▶ 3. Используя знания, полученные из § 1 и 2, ответьте на вопрос: в чем вы видите единство живого и неживого?

§ 3. БИОПОЛИМЕРЫ — БЕЛКИ, ИХ ФУНКЦИИ

Состав белков. Белки — обязательная составная часть всех клеток. В состав этих биополимеров входят мономеры 20 типов. Такими мономерами являются аминокислоты, которые состоят из атомов углерода, водорода, кислорода, азота и серы.

В результате соединения аминокислот однотипной химической связью, образуются линейные молекулы белков. В составе большинства белков находится в среднем 300—500 остатков аминокислот. Известно несколько очень коротких природных белков, длиной в 3—8 аминокислот, и очень длинных биополимеров, длиной более чем в 1500 аминокислот.

Каждая из 20 аминокислот отличается от любой другой аминокислоты особой химической группировкой, так называемой R-группой или радикалом (рис. 5).

Строение белков. Выделяют первичную, вторичную, третичную и четвертичную структуры белков (рис. 6).

Первичная структура (рис. 6,I) определяется порядком чередования аминокислот в цепи. Двадцать разных аминокислот можно уподобить 20 буквам химического алфавита, из которых составлены «слова» длиной в 300—500 букв. С помощью 20 букв можно написать безграничное множество таких длинных слов. Если считать, что замена или перестановка хотя бы одной буквы в слове придает ему новый смысл, то число комбинаций в слове длиной в 500 букв составит 20^{500}.

Известно, что замена даже одного аминокислотного звена другим в белковой молекуле изменяет ее свойства. В каждой клетке содержится несколько тысяч разных видов белковых молекул, и для каждого из них характерна строго определенная последовательность аминокислот. Именно порядок чередования аминокислот в данной белковой молекуле определяет ее особые физико-химические и биологические свойства. Исследователи умеют расшифровывать последовательность аминокислот в длинных белковых молекулах и синтезировать такие молекулы.

В живой клетке многие белки или отдельные участки их представляют собой не вытянутую нить, а спираль с одинаковыми расстояниями между витками. Такая спираль представляет собой *вторичную структуру* белковой молекулы (рис. 6, II).

Спираль обычно свернута в клубок. Этот клубок образован закономерным переплетением участков белковой цепи. Положительно и отрицательно заряженные группы аминокислот притягиваются и сближают даже далеко отстоящие друг от друга участки белковой цепи. Сближаются и иные участки белковой молекулы, несущие, например, «водоотталкивающие» (гидрофобные) группы. В результате взаимодействия различных остатков аминокислот спирализованная молекула белка образует клубок — *третичную структуру* (рис. 6, III). Для каждого вида белка характерна своя форма клубка с изгибами и петлями. Третичная структура зависит от первичной структуры, т. е. от порядка расположения аминокислот в цепи.

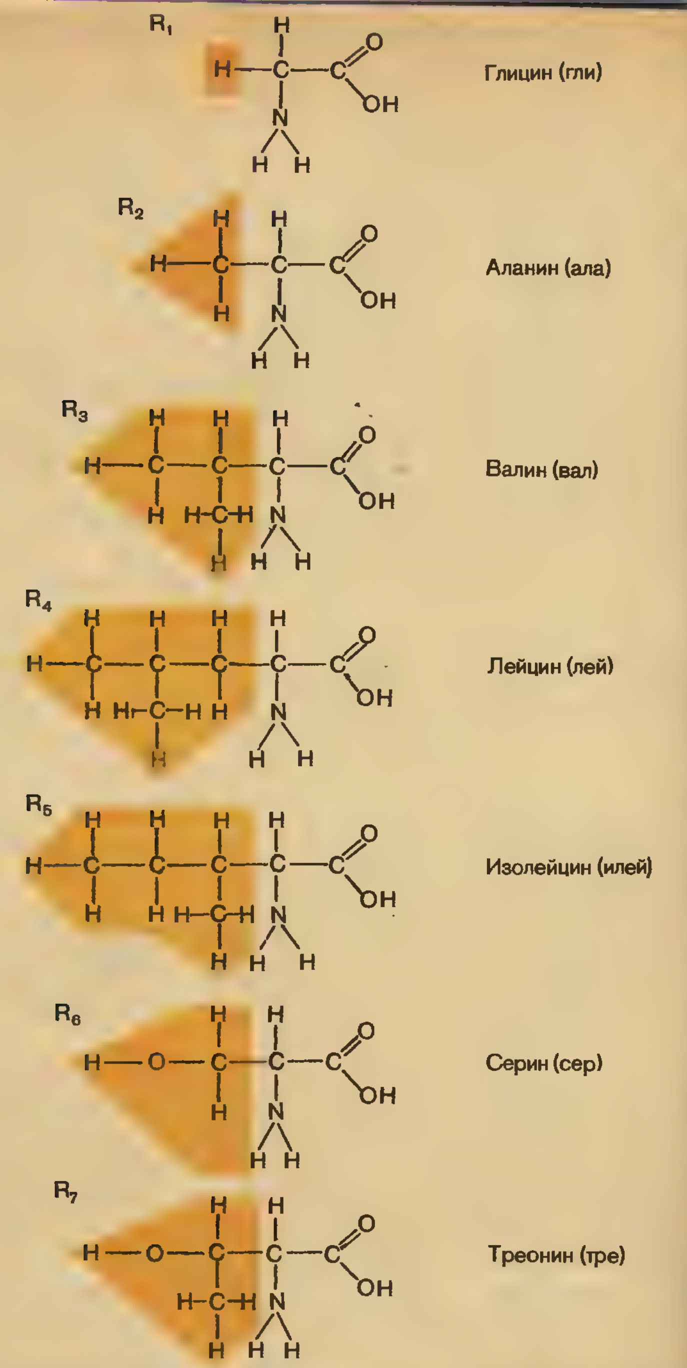
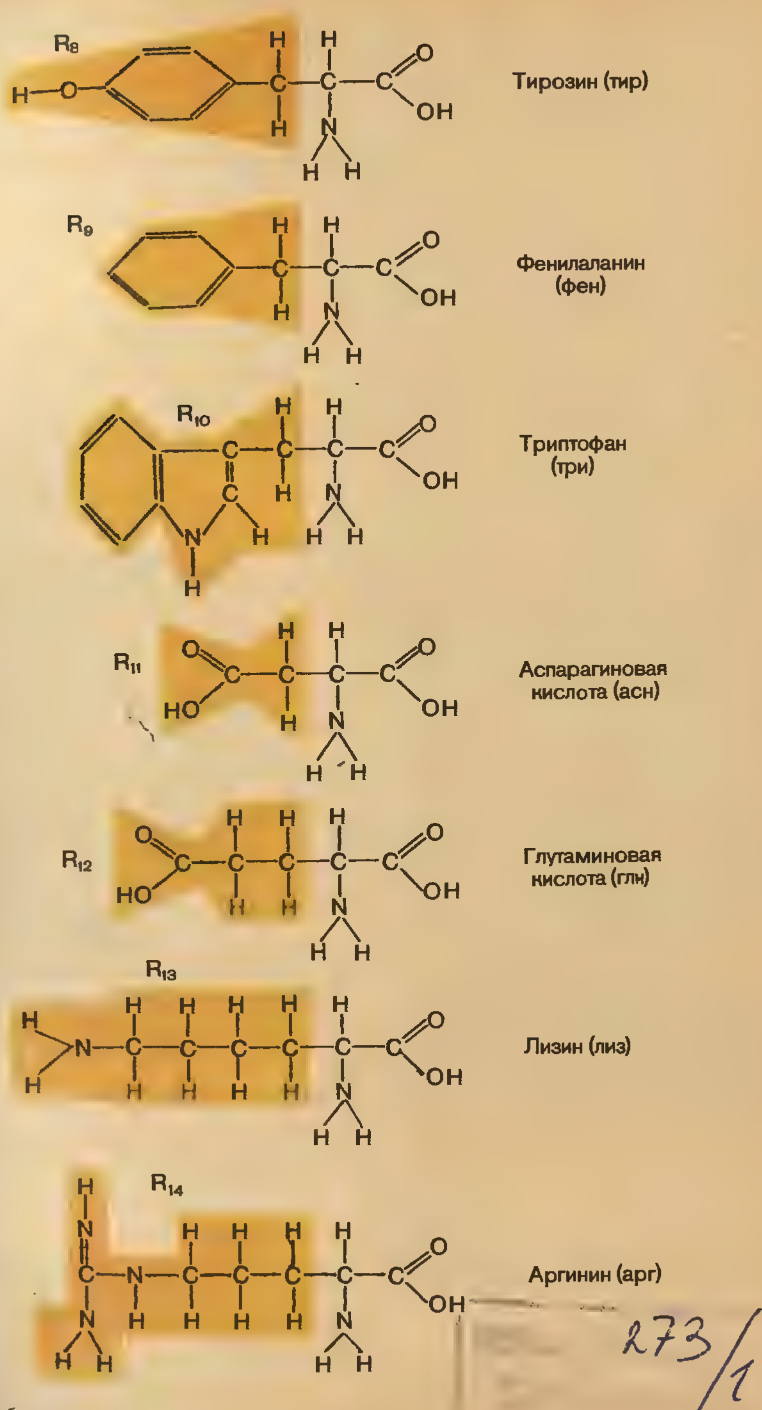


Рис. 5. Примеры строения аминокислот — мономеров белковых молекул.

Желтым цветом выделены радикалы (R)



273/1

R_{15} Гистидин (гис)

R_{16} Аспарагин (асп)

R_{17} Глутамин (глу)

R_{18} Цистеин (цис)

R_{19} Метионин (мет)

R_{20} Пролин (про)

Наконец, некоторые белки, например гемоглобин, состоят из нескольких цепей, различающихся по первичной структуре. Объединяясь вместе, они создают сложный белок, обладающий не только третичной, но и *четвертичной структурой* (рис. 6, IV).

Белки — строительные материалы. Некоторые бактерии и все растения способны синтезировать все аминокислоты, из которых строятся белки, используя для этого неорганические вещества: азот и углекислый газ воздуха, водород, полученный при расщеплении воды (за счет энергии света), неорганические вещества почвы. Животные в процессе эволюции утратили способность осуществлять синтез десяти особенно сложных аминокислот, называемых *незаменимыми*. Они получают их в готовом виде с растительной и животной пищей. Такие аминокислоты содержатся в белках молочных продуктов (молоко, сыр, творог), в яйцах, рыбе, мясе, а также в сое, бобах и некоторых других растениях. В пищеварительном

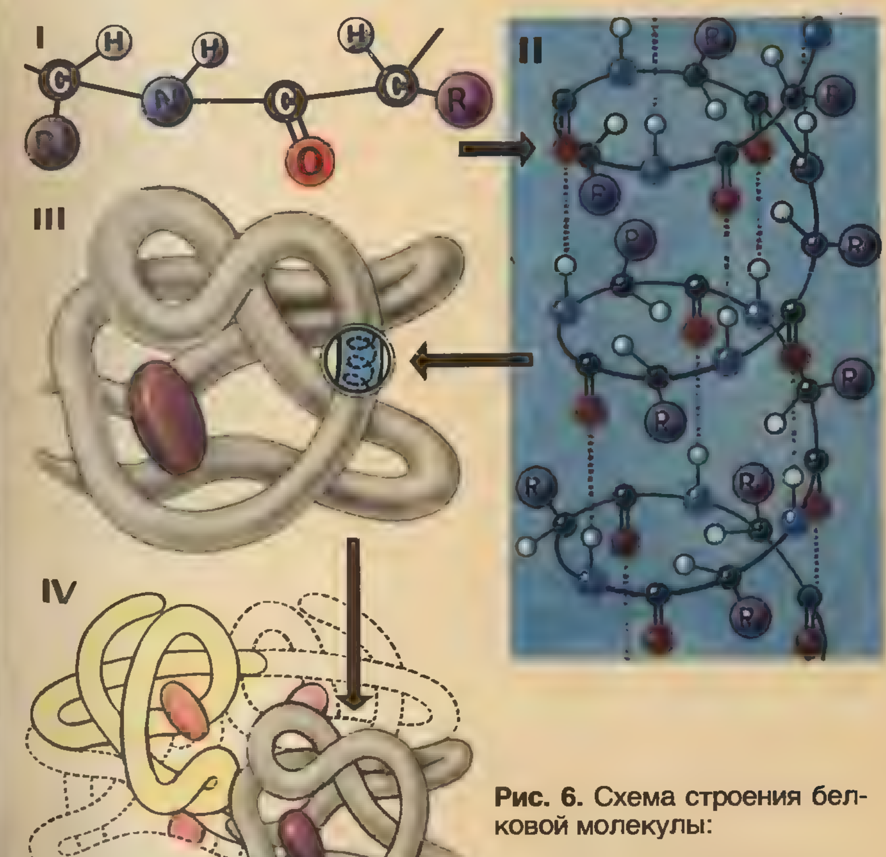


Рис. 6. Схема строения белковой молекулы:

I — первичная структура; II — вторичная; III — третичная; IV — четвертичная

тракте белки расщепляются до аминокислот, которые всасываются в кровь и попадают в клетки. В клетках из готовых аминокислот строятся собственные белки, характерные для данного организма. Белки являются обязательным компонентом всех клеточных структур и в этом состоит их важная *структурная роль.*

Белки — ферменты. В каждой живой клетке происходят непрерывно сотни биохимических реакций. В ходе этих реакций идут расщепление и окисление поступающих извне питательных веществ. Полученную вследствие окисления энергию питательных веществ и продукты их расщепления клетка использует для синтеза необходимых ей разнообразных органических соединений. Быстрое протекание таких реакций обеспечивают биологические катализаторы, или ускорители реакций — *ферменты.* В настоящее время известно более тысячи ферментов. Каждый фермент обеспечивает одну реакцию или несколько реакций одного типа. Например, жиры в пищеварительном тракте (а также внутри клеток) расщепляются специальным ферментом, который не действует на полисахариды (крахмал, гликоген) или на белки. В свою очередь, фермент, расщепляющий только крахмал или гликоген, не действует на жиры. Каждая молекула фермента способна осуществлять от нескольких тысяч до нескольких миллионов операций в минуту. В ходе этих реакций ферментный белок не расходуется. Он соединяется с реагирующими веществами, ускоряет их превращения и выходит из реакции неизменным.

Ферменты выполняют работу наилучшим образом. Только при оптимальной температуре (например, у человека и теплокровных животных при 37° С). Для ферментативных реакций нужна определенная концентрация ионов водорода в среде.

Процесс расщепления или синтеза любого вещества в клетке, как правило, разделен на ряд химических операций. Каждую операцию выполняет отдельный фермент. Группа таких ферментов составляет своего рода биохимический конвейер.

Регуляторные белки. Известно, что в специализированных клетках животных и растений производятся специальные регуляторы физиологических процессов — *гормоны.* Часть гормонов (но не все) животных и человека являются белками. Так, белковый гормон (гормон поджелудочной железы) инсулин активирует захват клетками молекул глюкозы и расщепление или запасание их внутри клетки. Если не хватает инсулина, то глюкоза накапливается в крови в избытке. Клетки без помощи инсулина не способны ее захватить — они голодают. Именно в этом причина развития диабета — болезни, вызываемой недостатком инсулина в организме.

Гормоны выполняют важнейшую функцию в организме, управляя активностью ферментов. Так, инсулин активирует в клетках печени фермент, синтезирующий из глюкозы другое органическое вещество — гликоген и ряд других ферментов.

Белки — средства защиты. При попадании бактерий или вирусов в кровь животных и человека организм реагирует выработкой специальных защитных белков — *антител.* Эти белки связываются с

чужеродными для организма белками возбудителей заболеваний, чем подавляется их жизнедеятельность. На каждый чужеродный белок организм вырабатывает специальные «антибелки» — антитела.

Антитела обладают удивительным свойством: среди тысяч разнообразных белков они «узнают» только один белок — чужеродный и только с ним реагируют. Такой механизм сопротивления возбудителям заболеваний называют *иммунитетом.* Помимо антител, растворенных в крови, имеются антитела на поверхности специальных клеток, которые «узнают» и захватывают чужеродные клетки. Это клеточный иммунитет, обеспечивающий в большинстве случаев и уничтожение вновь возникающих раковых клеток.

Чтобы предупредить заболевание, людям и животным вводят ослабленные или убитые бактерии либо вирусы (вакцины), которые не вызывают болезнь, но заставляют специальные клетки организма производить антитела против этих возбудителей. Если через некоторое время болезнетворная неослабленная бактерия или вирус попадают в такой организм, они встречают прочный защитный барьер из антител. Миллионы человеческих жизней спасены вакцинацией против оспы, бешенства, полиомиелита, желтой лихорадки и других болезней.

Белки — источник энергии. Белки могут служить источником энергии для клетки. При недостатке углеводов или жиров окисляются молекулы аминокислот. Освободившаяся при этом энергия используется на поддержание процессов жизнедеятельности организма.

1. Охарактеризуйте строение молекул белков в связи с их функциями в клетке.
2. Объясните, почему реакции, катализируемые ферментами, зависят от pH, от температуры.
3. Рассмотрите рисунок 6. Что характерно для каждого уровня организации белковой молекулы?
4. Каждый вид живых организмов имеет свой уникальный набор белковых молекул. Чем объясняется многообразие белков?
5. В чем отличие биополимеров белков от биополимеров углеводов? В чем их сходство?
6. ? Объясните биологическое значение вакцинации.

§ 4. БИОПОЛИМЕРЫ — НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ

Типы нуклеиновых кислот. В клетках имеются два типа нуклеиновых кислот: *дезоксирибонуклеиновая кислота* (ДНК) и *рибонуклеиновая кислота* (РНК). Эти биополимеры состоят из мономеров, называемых *нуклеотидами.* Мономеры-нуклеотиды ДНК и РНК сходны в основных чертах строения. Каждый нуклеотид состоит из трех компонентов, соединенных прочными химическими связями.

Нуклеотиды, входящие в состав РНК, содержат пятиуглеродный сахар — *рибозу,* одно из четырех органических соединений, кото-

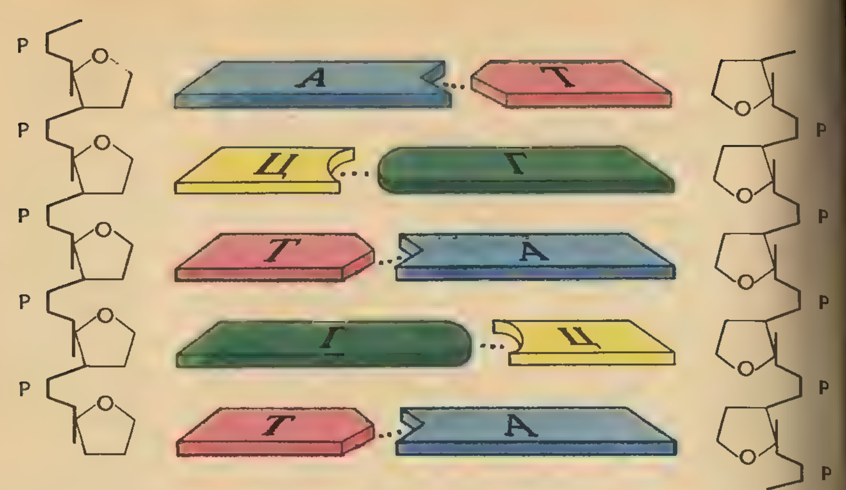


Рис. 7. Схематическое строение нуклеотида ДНК.

Многоточием обозначены водородные связи

рые называют *азотистыми основаниями: аденин, гуанин, цитозин, урацил* (**А, Г, Ц, У**) — и *остаток фосфорной кислоты* (рис. 7).

Нуклеотиды, входящие в состав ДНК, содержат пятиуглеродный сахар — *дезоксирибозу,* одно из четырех азотистых оснований: *аденин, гуанин, цитозин, тимин* (**А, Г, Ц, Т**) — и *остаток фосфорной кислоты.*

В составе нуклеотидов к молекуле рибозы (или дезоксирибозы) с одной стороны присоединено азотистое основание, а с другой — остаток фосфорной кислоты. Нуклеотиды соединяются между собой в длинные цепи. Остов такой цепи образуют регулярно чередующиеся остатки сахара и органических фосфатов, а боковые группы этой цепи — четыре типа нерегулярно чередующихся азотистых оснований.

Молекула ДНК представляет собой структуру, состоящую из двух нитей, которые по всей длине соединены друг с другом *водородными связями.* Такую структуру, свойственную только молекулам ДНК, называют *двойной спиралью.* Особенностью структуры ДНК является то, что против азотистого основания **А** в одной цепи лежит азотистое основание **Т** в другой цепи, а против азотистого основания **Г** всегда расположено азотистое основание **Ц.** Схематически сказанное можно выразить следующим образом:

А (аденин) — **Т** (тимин)
Т (тимин) — **А** (аденин)
Г (гуанин) — **Ц** (цитозин)
Ц (цитозин) — **Г** (гуанин)

Эти *пары оснований* называют *комплементарными* основаниями (дополняющими друг друга). Нити ДНК, в которых основания расположены комплементарно друг к другу, называют *комплементарными нитями.* На рисунке 8 приведены две нити ДНК, которые соединены комплементарными участками.

Модель строения молекулы ДНК предложили Дж. Уотсон и Ф. Крик в 1953 г. Она полностью подтверждена экспериментально и сыграла исключительно важную роль в развитии молекулярной биологии и генетики.

Расположение четырех типов нуклеотидов в цепях ДНК несет важную информацию. Порядок расположения нуклеотидов в молекулах ДНК определяет порядок расположения аминокислот в линейных молекулах белков, т. е. их первичную структуру. Набор белков (ферментов, гормонов и др.) определяет свойства клетки и организма. Молекулы ДНК хранят сведения об этих свойствах и передают их в поколения потомков. Другими словами, ДНК является *носителем наследственной информации.* Молекулы ДНК в основном находятся в ядрах клеток. Однако небольшое их количество содержится в митохондриях и хлоропластах.

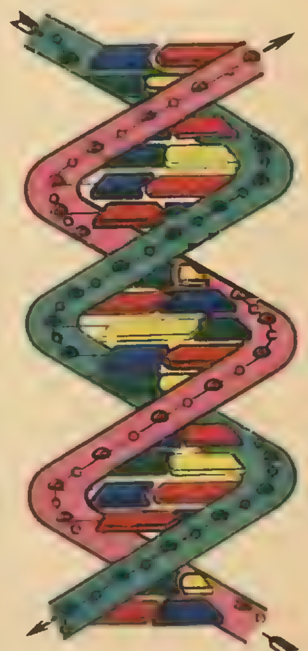
Основные виды РНК. Наследственная информация, хранящаяся в молекулах ДНК, реализуется через молекулы белков. Информация о строении белка передается в цитоплазму особыми молекулами РНК, которые называются *информационными* (и-РНК). Информационная РНК переносится в цитоплазму, где с помощью специальных органоидов — *рибосом* идет синтез белка. Именно информационная РНК, которая строится комплементарно одной из нитей ДНК, определяет порядок расположения аминокислот в белковых молекулах.

В синтезе белка принимает участие другой вид РНК — *транспортная* (т-РНК), которая подносит аминокислоты к месту образования белковых молекул — *рибосомам,* своеобразным фабрикам по производству белков.

В состав рибосом входит третий вид РНК, так называемая *рибосомная РНК* (р-РНК), которая определяет структуру рибосом.

Молекула РНК в отличие от молекулы ДНК представлена одной нитью; вместо дезоксирибозы — рибоза и вместо тимина — урацил.

Итак, нуклеиновые кислоты выполняют в клетке важнейшие биологические функции. В ДНК хранится наследственная информация о всех свойствах клетки и организма в целом. Различные виды РНК



Остаток дезоксирибозы
Остаток фосфорной кислоты

Рис. 8. Участок двуспиральной молекулы ДНК

принимают участие в реализации наследственной информации через синтез белка.

? 1. Рассмотрите рисунок 8 и скажите, в чем особенность строения молекулы ДНК. Какие компоненты входят в состав нуклеотидов?

▶ 2. Почему постоянство содержания ДНК в разных клетках организма считается доказательством того, что ДНК представляет собой генетический материал?

▶ 3. Используя таблицу, дайте сравнительную характеристику ДНК и РНК.

Нуклеиновые кислоты	Строение мономера нуклеотида	Функция в клетке	Особенность строения молекулы биополимера
ДНК	1. Остаток фосфорной кислоты 2. Дезоксирибоза 3. Азотистые основания (аденин или гуанин, или цитозин, или тимин)	Хранитель наследственной информации	Двойная спираль
РНК	1. Остаток фосфорной кислоты 2. Рибоза 3. Азотистое соединение (аденин или гуанин, или цитозин, или урацил)	Информационная, транспортная РНК принимают участие в синтезе белка	Одинарная нить

▶ 4. Фрагмент одной цепи ДНК имеет следующий состав: —А—А—А—Т—Т—Ц—Ц—Г—Г—Г—. Достройте вторую цепь.

▶ 5. В молекуле ДНК тиминов насчитывается 20% от общего числа азотистых оснований. Определите количество азотистых оснований аденина и цитозина.

▶ 6. В чем сходство и различие между белками и нуклеиновыми кислотами?

§ 5. АТФ И ДРУГИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В КЛЕТКЕ

В любой клетке кроме белков, полисахаридов и нуклеиновых кислот насчитывается несколько тысяч других органических соединений. Их можно условно разделить на конечные и промежуточные продукты биосинтеза и распада.

Конечными продуктами биосинтеза называют органические соединения, которые играют самостоятельную роль в организме или служат мономерами для синтеза биополимеров. К числу ко-

нечных продуктов биосинтеза относятся аминокислоты, из которых в клетках синтезируются белки; нуклеотиды — мономеры, из которых синтезируются нуклеиновые кислоты (РНК и ДНК); глюкоза, которая служит мономером для синтеза гликогена, крахмала, целлюлозы.

Путь к синтезу каждого из конечных продуктов лежит через ряд *промежуточных соединений*. Многие вещества подвергаются в клетках ферментативному расщеплению, распаду.

Рассмотрим некоторые конечные органические соединения.

Аденозинфосфорные кислоты. Особо важную роль в биоэнергетике клетки играет адениловый нуклеотид, к которому присоединены два остатка фосфорной кислоты. Такое вещество называют *аденозинтрифосфорной кислотой* (АТФ). В химических связях между остатками фосфорной кислоты молекулы АТФ запасена энергия, которая освобождается при отщеплении органического фосфата:

$$АТФ \rightarrow АДФ + Ф + Е,$$

где Ф — фермент, Е — особождающаяся энергия.

В этой реакции образуется *аденозиндифосфорная кислота* (АДФ) — остаток молекулы АТФ и органический фосфат.

Энергию АТФ все клетки используют для процессов биосинтеза, движения, производства тепла, нервных импульсов, свечений (например, у люминесцентных бактерий), т. е. для всех процессов жизнедеятельности.

АТФ — универсальный биологический аккумулятор энергии. Световая энергия Солнца и энергия, заключенная в потребляемой пище, запасается в молекулах АТФ.

Регуляторные и сигнальные вещества. Конечными продуктами биосинтеза являются вещества, играющие важную роль в регуляции физиологических процессов и развитии организма. К числу их относятся многие гормоны животных. Наряду с белковыми гормонами, о которых сказано в § 3, известны гормоны небелковой природы. Некоторые из них регулируют содержание ионов натрия и воды в организме животных, другие обеспечивают половое созревание и играют важную роль в воспроизведении животных. Гормоны тревоги, или стресса, в условиях напряжения усиливают выход глюкозы в кровь, что в конечном счете приводит к увеличению синтеза АТФ и активному использованию энергии, запасенной организмом.

Насекомые производят ряд летучих гормонов, которые играют роль сигналов, сообщающих о нахождении пищи, об опасности, привлекающих самок к самцам (и наоборот).

У растений имеются свои гормоны. Под действием некоторых гормонов значительно ускоряется созревание растений, увеличивается их урожайность.

Растения производят сотни разнообразных летучих и нелетучих соединений, которые привлекают насекомых, переносящих пыльцу; отпугивают или отравляют насекомых, питающихся растениями;

уничтожают растения иных видов, селящихся рядом и конкурирующих за минеральные вещества в почве.

Витамины. К конечным продуктам биосинтеза принадлежат *витамины.* К ним относят жизненно важные соединения, которые организмы данного вида не способны синтезировать сами, а должны получать в готовом виде извне. Например, витамин С (аскорбиновая кислота) не синтезируется в клетках человека, человекообразных обезьян, морских свинок, некоторых видов летучих мышей, но синтез его идет в клетках ряда иных животных, а также растений и микроорганизмов. Следовательно, аскорбиновая кислота является витамином только для человека и перечисленных животных, которые утратили способность ее синтезировать. Витамин PP животные не способны синтезировать, но его синтезируют все растения и многие бактерии.

Большинство известных витаминов в клетке становятся составными частями ферментов и участвуют в биохимических реакциях. Суточная потребность человека в каждом витамине составляет несколько микрограммов[1].

Только витамин С нужен в количестве около 100 мг в сутки.

Недостаток ряда витаминов в организме человека и животных ведет к нарушению работы ферментов и является причиной тяжелых заболеваний — *авитаминозов.* Например, недостаток витамина С является причиной тяжелого заболевания — цинги, при недостатке витамина Д развивается рахит у детей. Наоборот, при избытке витаминов также могут возникать различные заболевания.

? 1. Каково значение АТФ в клетке?
? 2. Что является конечными продуктами биосинтеза в клетке? Каково их биологическое значение?
? 3. Какую биологическую роль в организме выполняют витамины?
○ Вспомните из курса анатомии, физиологии и гигиены человека строение клетки.

Глава II.
СТРУКТУРА И ФУНКЦИИ КЛЕТКИ

Клетка — элементарная единица живой системы. Элементарной единицей она может быть названа потому, что в природе нет более мелких систем, которым были бы присущи все без исключения признаки (свойства) живого. Известно, что организмы бывают одноклеточными (например, бактерии, простейшие, водоросли) или многоклеточными.

[1] 1 микрограмм = 10^{-6} г.

Клетка обладает всеми свойствами живой системы: она осуществляет обмен веществ и энергии, растет, размножается и передает по наследству свои признаки, реагирует на внешние раздражители и способна двигаться. Она является низшей ступенью организации, обладающей всеми этими свойствами.

Функции в клетке распределены между различными органоидами, такими, как клеточное ядро, митохондрии и т. д. У многоклеточных организмов разные клетки (например, нервные, мышечные, клетки крови у животных или клетки стебля, листьев, корня у растений) выполняют разные функции и поэтому различаются по структуре. Несмотря на многообразие форм, клетки разных типов обладают поразительным сходством в своих главных структурных особенностях.

§ 6. КЛЕТОЧНАЯ ТЕОРИЯ

Первые наблюдения над клеткой. Изобретение микроскопа и его использование для биологических наблюдений позволило открыть неизвестный до тех пор мир.

Началом изучения клетки можно считать 1665 г., когда английский ученый Роберт Гук впервые увидел в микроскоп на тонком срезе пробки мелкие ячейки; он назвал их *клетками* (от англ. cell — клетка). По мере усовершенствования микроскопов появлялись все новые сведения о клеточном строении растительных и животных организмов.

К началу XIX в. представления о клеточном строении живых организмов получили широкое распространение и признание. Однако, что собой представляет клетка, как она устроена, какова ее роль для организма, как она произошла и множество других вопросов оставались без ответа.

Появление и развитие клеточной теории. Очень важное открытие в 30-х годах XIX в. сделал шотландский ученый Роберт Броун. Наблюдая в микроскоп строение листа растения, он обнаружил внутри клетки круглое плотное образование, которое назвал *ядром.* Это было замечательное открытие, поскольку оно создало основу для сопоставления всех клеток.

В 1838 г. немецкий ученый М. Шлейден первым пришел к заключению о том, что ядро является обязательным структурным элементом всех растительных клеток. Познакомившись с этим исследованием, Т. Шванн, соотечественник Шлейдена, был удивлен: точно такие же образования он обнаружил и в животных клетках, изучением которых занимался. Сопоставление большого числа растительных и животных клеток привело его к неожиданному выводу: все клетки, несмотря на их огромное разнообразие, сходны — у них есть ядра.

Обобщив разрозненные факты, Т. Шванн и М. Шлейден сформулировали основное положение клеточной теории: *все растительные и животные организмы состоят из клеток, сходных по строению.*

Немецкий биолог Рудольф Вирхов спустя 20 лет внес очень важное дополнение в клеточную теорию. Он доказал, что количество клеток в организме увеличивается в результате клеточного деления, т. е. *клетка происходит только от клетки.*

По определению Ф. Энгельса, клеточная теория явилась одним из великих открытий XIX в. Клеточная теория лежит в основе представлений о единстве всего живого, общности его происхождения и эволюционного развития. Основные успехи науки о клетке (как, впрочем, и любой науки о природе) связаны с усовершенствованием инструментов и развитием методов исследования.

Благодаря дальнейшему усовершенствованию светового микроскопа и методов окраски клеток открытия следовали одно за другим. За сравнительно короткое время были выделены и описаны не только *ядро* и *цитоплазма* клеток, но и многие заключенные в ней части — *органоиды.*

В настоящее время клетку изучают, применяя физические и химические методы исследования и новейшие приборы. Это и электронные микроскопы (рис.9), дающие увеличение до 1 000 000 раз, и применение специальных красителей, позволяющих избирательно выявить клеточные структуры и др. Для того чтобы изучить химический состав клетки или ее частей, применяют метод центрифугирования. Он основан на том, что разные клеточные органоиды имеют неодинаковую плотность. При очень быстром вращении в ультрацентрифуге различные органоиды предварительно измельченных клеток располагаются слоями: более плотные осаждаются быстрее и оказываются внизу, сверху — наименее плотные. Слои разделяют и изучают отдельно.

С приходом в науку о клетке физических и химических методов исследования началось успешное проникновение в тайны тончайшей организации клетки. Было выявлено удивительное единство в строении клеток разных организмов, доказана неразрывная связь между ее структурой и функцией. Благодаря этому основные положения клеточной теории, сформулированные более ста лет назад, были развиты и углублены.

Основные положения клеточной теории на современном этапе развития биологии формулируются так:

1. Клетка является основной структурной и функциональной единицей жизни. Все организмы состоят из клеток, жизнь организма в целом обусловлена взаимодействием составляющих его клеток.

2. Клетки всех организмов сходны по своему химическому составу, строению и функциям.

3. Все новые клетки образуются при делении исходных клеток.

Остановимся кратко на положениях клеточной теории. Всем клеткам характерна способность к росту, размножению, дыханию, выделению, использованию и превращению энергии, они реагируют на раздражение. Таким образом, клетки обладают всей совокупностью свойств, необходимых для поддержания жизни. Отдельные их части не могут выполнять весь комплекс жизненных функций, только совокупность структур, образующих клетку, проявляет все признаки жизни. Поэтому только клетка является основной структурной и функциональной единицей живых организмов. У многоклеточных организмов (растений, животных, грибов) отдельные клетки тесно и слаженно взаимодействуют друг с другом.

Клетки всех организмов имеют сходный химический состав (подробнее об этом сказано в § 1—5 этой главы). Клетки животных, растений, грибов, в том числе и одноклеточных, имеют сходное строение. Все они имеют ядро и цитоплазму. В цитоплазме под световым микроскопом хорошо видны некоторые клеточные органоиды: вакуоли, хлоропласты, митохондрии — и различного рода *включения.*



Рис. 9. Электронный микроскоп



Рис. 10. Различные формы клеток в связи с выполняемыми функциями:

1 — клетки эпителия кишечника; *2* — бактерии: кокки, кишечная палочка, спириллы со жгутиками на концах тела; *3* — диатомовая водоросль; *4* — мышечная клетка; *5* — нервная клетка; *6* — одноклеточная водоросль ацетобулярия; *7* — клетки печени; *8* — инфузория; *9* — эритроциты; *10* — клетки эпидермиса лука

Строение большинства клеточных органоидов во всех клетках также очень сходно. И в то же время форма и размер клеток даже в пределах одного организма очень разнообразны, что зависит от специализации клетки и выполняемой ею функции. Они могут быть в виде многогранников, а также иметь дисковидную, шаровидную, кубическую формы.

Например, клетки покровных тканей плоские и плотно прилегают друг к другу, нервные клетки вытянуты в длинные нити и т. д. (рис. 10).

Средние размеры клеток — несколько десятков микрометров, хотя бывают клетки меньших и больших размеров. Так, у человека имеются небольшие сферической формы лимфоидные клетки диаметром около 10 мкм[1] и нервные клетки, тончайшие отростки которых достигают более 1 м.

Общность химического состава и строения клетки — основной структурной и функциональной единицы живых организмов — свидетельствует о единстве происхождения всего живого на Земле.

- ▶ 1. Используя знания о клеточной теории, докажите единство происхождения жизни на Земле.
- ▶ 2. Докажите, что клетка — структурная и функциональная единица живых организмов.
- ▶ 3. Каково значение клеточной теории?
- ○ Вспомните из курса анатомии, физиологии и гигиены человека химический состав клетки и ее жизненные свойства.

§ 7. ЦИТОПЛАЗМА. ПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ МЕМБРАНА

Цитоплазма — обязательная часть клетки, заключенная между плазматической мембраной и ядром. Цитоплазма включает различные органоиды. Пространство между ними заполнено водным раствором различных солей и органических веществ, среди которых преобладают белки. В состав цитоплазмы входят следующие органоиды (рабочие части клетки): эндоплазматическая сеть, рибосомы, митохондрии, пластиды, аппарат Гольджи, лизосомы, органоиды движения и др. Большинство химических и физиологических процессов клетки проходит в цитоплазме. Вновь синтезированные белки и другие вещества перемещаются внутри клетки или выводятся из нее.

Плазматическая мембрана. Каждая клетка животных, растений, грибов отграничена от окружающей среды или других клеток *плазматической мембраной.* Толщина этой мембраны так мала (около 10 нм), что ее можно увидеть только в электронный микроскоп (рис. 11, *1*).

Наружная плазматическая мембрана осуществляет ряд функций, необходимых для жизнедеятельности клетки: сохраняет ее форму, защищает цитоплазму от физических и химических повреждений, делает возможным контакт и взаимодействие клеток в тканях и органах, избирательно обеспечивает транспорт в клетку пищевых веществ и выведение конечных продуктов обмена. Столь сложным

[1] 1 мм $= 10^3$ мкм (микрометр) $= 10^6$ нм (нанометр).

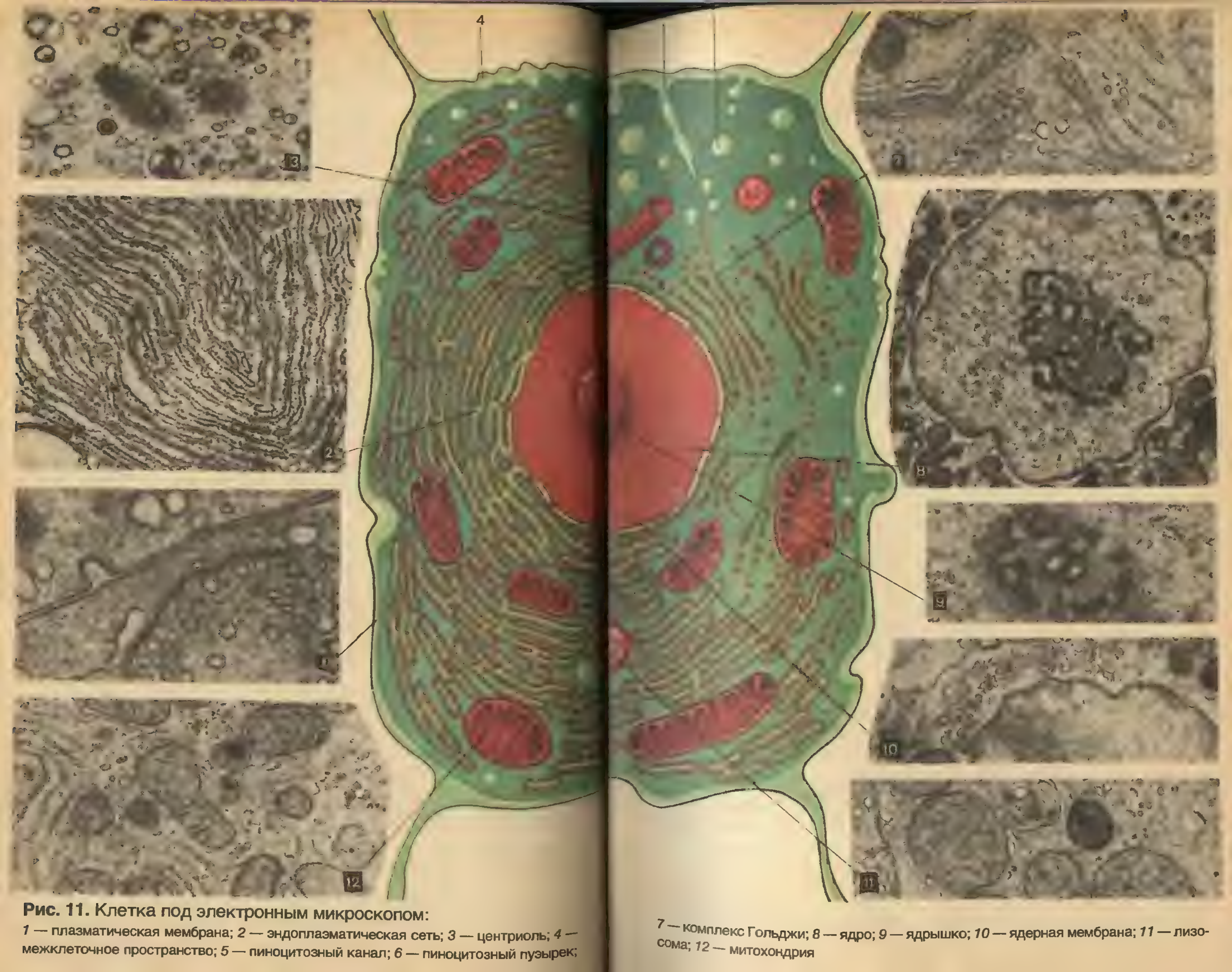


Рис. 11. Клетка под электронным микроскопом:
1 — плазматическая мембрана; *2* — эндоплазматическая сеть; *3* — центриоль; *4* — межклеточное пространство; *5* — пиноцитозный канал; *6* — пиноцитозный пузырек; *7* — комплекс Гольджи; *8* — ядро; *9* — ядрышко; *10* — ядерная мембрана; *11* — лизосома; *12* — митохондрия

функциям соответствует и строение плазматической мембраны (рис. 12).

Плазматическая мембрана состоит из липидов и белков. Липиды в мембране образуют двойной слой, а белки пронизывают всю ее толщу или располагаются на внешней или внутренней поверхности мембраны (рис. 12). К некоторым белкам, находящимся на наружной поверхности, прикреплены углеводы. Белки и углеводы на поверхности мембран у разных клеток неодинаковы и являются своеобразными указателями типа клеток. С помощью этих указателей, например, сперматозоиды узнают яйцеклетку. Благодаря этому клетки, принадлежащие к одному типу, удерживаются вместе, образуя ткани. Кроме того, белковые молекулы обеспечивают избирательный транспорт сахаров, аминокислот, нуклеотидов и других веществ в клетку или из клетки.

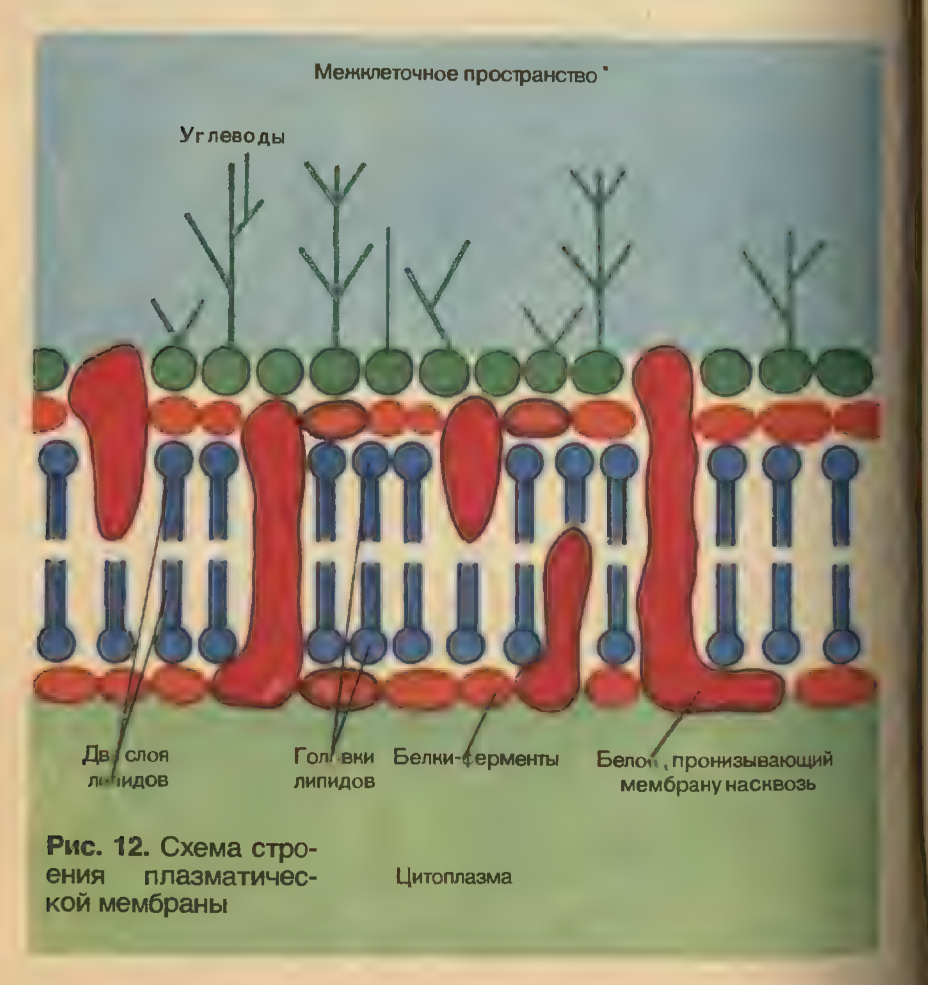


Рис. 12. Схема строения плазматической мембраны

Строение мембран всех других органоидов сходно с плазматической мембраной. Различаются они составом, соотношением липидов и белков, их расположением в структуре мембран.

Для переноса воды и различных ионов в клеточной мембране существуют поры, через которые в клетку пассивно поступают вода и некоторые ионы. Кроме того, существует активный перенос веществ в клетку с помощью специальных молекул, входящих в состав плазматической мембраны. Он осуществляется на основе процессов фагоцитоза и пиноцитоза.

Захват плазматической мембраной твердых частиц и впячивание (втягивание) их внутрь клетки называют *фагоцитозом* (от греч. «фагос» — пожирать и «цитос» — клетка). Это явление можно наблюдать, например, при захвате амебой более мелких одноклеточных или при захвате бактерий, проникших в организм животного или человека, лейкоцитами крови. Сходным образом попадают в клетку растворимые в жидкости мелкие частицы или молекулы.

Плазматическая мембрана образует впячивание в виде тонкого канальца, в который и попадает жидкость с растворенными в ней веществами. От канальца затем отпочковываются пузырьки. Этот способ называют *пиноцитозом* (от греч. «пино» — пью и «цитос» — клетка), он наиболее универсальный, поскольку присущ клеткам растений, животных и грибов.

Лизосомы. Попадая в цитоплазму, пиноцитозные и фагоцитозные пузырьки передвигаются в ней и сливаются с *лизосомами* (от греч. «лизео» — растворяю и «сома» — тело). Это органоиды клетки овальной формы (рис. 11, *11*), окруженные мембраной. В них находится набор ферментов, которые разрушают белки, нуклеиновые кислоты, углеводы, липиды. Ферменты лизосом расщепляют принесенные пиноцитозными или фагоцитозными пузырьками вещества.

Мембрана лизосом очень прочная и препятствует проникновению собственных ферментов в цитоплазму клетки, но если лизосома повреждается от каких-либо внешних воздействий, то разрушается вся клетка или часть ее. Лизосомы встречаются во всех клетках растений, животных и грибов.

Осуществляя переваривание различных органических частиц, лизосомы обеспечивают дополнительным «сырьем» химические и энергетические процессы в клетке. При голодании клетки лизосомы переваривают некоторые органоиды, не убивая клетку. Такое частичное переваривание обеспечивает клетке на какое-то время необходимый минимум питательных веществ. Иногда лизосомы переваривают целые клетки и группы клеток, что играет существенную роль в процессах развития у животных. Примером может служить утрата хвоста при превращении головастика в лягушку.

Эндоплазматическая сеть (ЭПС) и рибосомы. Эндоплазматическая сеть является системой синтеза и транспорта органических веществ в цитоплазме клетки, представляющей собой систему соединенных полостей, канальцев и трубочек (рис. 13). Они ограничены мембраной, сходной по строению с плазматической мембраной.

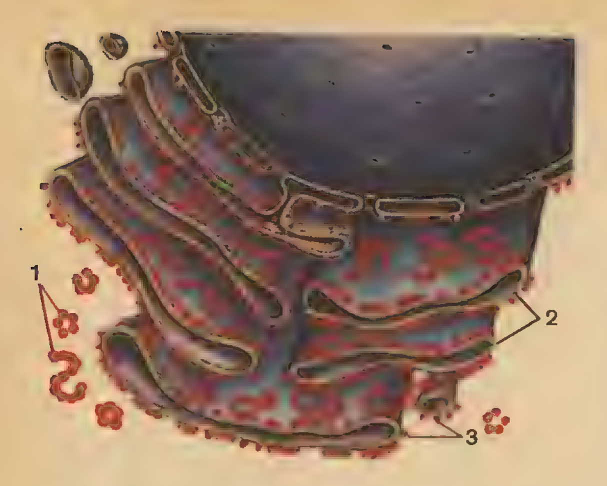


Рис. 13. Схема строения эндоплазматической сети:

1 — свободные рибосомы; *2* — полости; *3* — рибосомы, прикрепленные к мембранам

К мембранам эндоплазматической сети прикреплено большое число *рибосом* — органоидов, состоящих из р-РНК и белка. На рибосомах и происходит синтез белков клетки. Затем вновь синтезированные белки поступают в систему полостей и канальцев, по которым перемещаются внутри клетки.

В цитоплазме клетки есть и свободные, не прикрепленные к мембранам эндоплазматической сети рибосомы. Как правило, они располагаются группами, на них тоже синтезируются белки, используемые самой клеткой.

Комплекс Гольджи. Поступающие в просветы полостей и канальцев эндоплазматической сети продукты биосинтеза концентрируются и транспортируются в специальный аппарат — *комплекс Гольджи* (рис. 11, *7*).

Комплекс Гольджи состоит из 3—8 сложенных стопкой, уплощенных, слегка изогнутых, дискообразных полостей. Он выполняет в клетке разнообразные функции: участвует в транспорте продук-

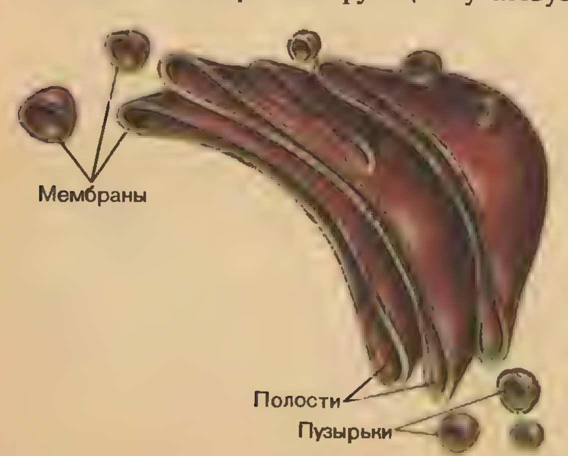


Рис. 14. Схема строения комплекса Гольджи

тов биосинтеза к поверхности клетки и в выведении их из клетки, в формировании лизосом и т. д.

В настоящее время сложилось представление о наличии в клетке *единой мембранной системы.* В этой системе взаимосвязаны такие органоиды клетки, как эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, лизосомы.

1. Как связано строение клеточной мембраны с ее функциями?
2. Как происходит активное поглощение веществ клеткой?
3. Какова связь между рибосомами и эндоплазматической сетью?
4. Каковы строение и функции лизосом?

§ 8. ЦИТОПЛАЗМА: МИТОХОНДРИИ, ПЛАСТИДЫ, ОРГАНОИДЫ ДВИЖЕНИЯ, ВКЛЮЧЕНИЯ

Митохондрии. В цитоплазме клеток расположены так называемые *энергетические органоиды* — *митохондрии.* Митохондрии видны в световой микроскоп. Форма митохондрий различна, они могут быть овальными, палочковидными, нитевидными. Число митохондрий в клетке зависит от функциональной активности клетки.

Внутреннее строение митохондрий (рис. 15) изучено с помощью электронного микроскопа. На электронных микрофотографиях видно, что митохондрии снаружи ограничены внешней мембраной, которая в основном имеет то же строение, что и плазматическая мембрана. Под наружной мембраной располагается внутренняя мембрана, образующая многочисленные складки — *кристы.* Внутри митохондрий находятся окислительные ферменты, РНК, ДНК и рибосомы, отличающиеся от цитоплазматических. В ее мембраны встроены специфические ферменты, с помощью которых в митохондрии происходит преобразование энергии пищевых веществ в



Рис. 15. Схема строения митохондрии

энергию АТФ, необходимую для жизнедеятельности клетки и организма в целом.

Пластиды. Это органоиды, свойственные только клеткам растений. По своему строению пластиды сходны с митохондриями, так как имеют двухмембранное строение. Существуют три вида пластид: хлоропласты, хромопласты и лейкопласты.

Хлоропласт (рис. 16) по форме напоминает диск или шар диаметром 4 — 6 мкм с двойной оболочкой — наружной и внутренней. Внутри хлоропласта имеются ДНК, рибосомы и особые мембранные структуры — *граны,* связанные между собой и с внутренней мембраной хлоропласта. В мембранах гран находится хлорофилл. Благодаря хлорофиллу в хлоропластах происходит превращение энергии солнечного света в химическую энергию АТФ. Энергия АТФ используется в хлоропластах для синтеза углеводов из углекислого газа воздуха.

Хромопласты. Пигменты красного и желтого цвета, находящиеся в хромопластах, придают различным частям растений красную и желтую окраску. Корень моркови, плоды томатов окрашены благодаря пигментам, содержащимся в хромопластах. Сочетание хромопластов, содержащих разные пигменты, создает большое разнообразие окрасок цветков и плодов растений.

Лейкопласты являются местом накопления запасного питательного вещества — крахмала. Особенно много лейкопластов в клетках клубней картофеля. На свету лейкопласты могут превращаться в хлоропласты (в результате чего клубни картофеля зеленеют). Осенью хлоропласты превращаются в хромопласты и зеленые листья и плоды желтеют и краснеют.

Постоянное движение клетки. Органоиды движения. Многие клетки одноклеточных и многоклеточных организмов обладают способностью к движению. Под этим понимается и движение клетки в пространстве, и внутриклеточное движение ее органоидов. У растений, животных и грибов движение клеток необходимо для взаимодействия между собой. В жидкой среде перемещение клеток осуществляется движением жгутиков и ресничек (рис. 17). Так передвигаются многие одноклеточные, например эвглена зеленая, туфельки и др. Некоторые виды бактерий также движутся с помощью жгутиков, длинных и гибких, которые быстро вращаются, обеспечивая продвижение клетки. Амебы и некоторые другие простейшие организмы, а также специализированные клетки многоклеточных (например, лимфоциты) передвигаются с помощью выростов, образующихся на поверхности клеток.

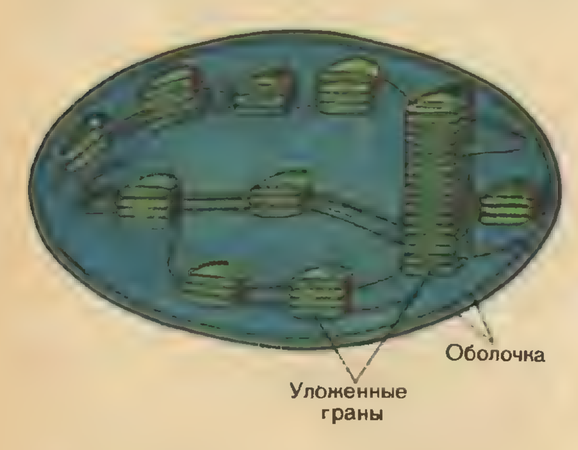


Рис. 16. Схема строения хлоропласта



Рис. 17. Жгутиконосец

Клетка находится в постоянном движении. При фагоцитозе и пиноцитозе происходит впячивание плазматической мембраны внутрь клетки, передвигаются лизосомы, пузырьки комплекса Гольджи, митохондрии, наконец, движется сама цитоплазма.

Клеточное движение обеспечивается структурами, называемыми микротрубочками и микронитями. *Микротрубочки* — это длинные полые цилиндры, стенки которых состоят из белков. Из микротрубочек состоят жгутики и реснички всех изученных клеток. *Микронити* — очень тонкие структуры, состоящие в основном из белка. В мышечных клетках они создают структуры, обеспечивающие сократительную функцию этих клеток.

В цитоплазме клеток всех организмов около ядра располагается *клеточный центр,* принимающий участие в делении клетки. В состав клеточного центра клеток животных и низших растений входит *центриоль* (рис. 11, *3*). Центриоль — парное образование. Она содержит две удлиненные гранулы, состоящие из микротрубочек и расположенные перпендикулярно друг к другу.

Клеточные включения. Наконец, следует сказать о многочисленных включениях в цитоплазме. Включениями называют *непостоянные структуры цитоплазмы,* которые в отличие от органоидов то возникают, то исчезают в процессе жизнедеятельности клетки. Плотные в виде гранул включения содержат запасные питательные вещества (крахмал, белки, сахара, жиры) или продукты жизнедеятельности клетки, которые по той или иной причине не могут быть сразу удалены. Способностью синтезировать и накапливать запасные питательные вещества обладают все пластиды растительных клеток.

В растительных клетках накопление запасных питательных веществ происходит и в вакуолях, которые часто занимают почти весь объем клетки, отодвигая ядро и цитоплазму к плазматической мембране.

1. Почему митохондрии образно назывввют «силовыми станциями» клвтки?
2. Какие структуры клетки способствуют вв движению?
3. Что относится к клеточным включениям? Какова их роль в клетке?
4. Опишите особенности строения митохондрии и хлоропласта в связи с их функциями в клетке.

§ 9. ЯДРО. ПРОКАРИОТЫ И ЭУКАРИОТЫ

Строение ядра. В клетке животных высших растений и грибов находится, как правило, одно *ядро.* Ядро имеет шаровидную или округлую форму. Оно окружено мембраной, которая состоит из двух слоев — наружного и внутреннего (рис. 11,*10*). Каждый из них подобен плазматической мембране, но отличается многочисленными порами, которые насквозь пронизывают мембранные слои. Через них осуществляется активный обмен веществами между ядром и цитоплазмой. Размеры пор позволяют проникать из ядра в цитоплазму даже крупным молекулам и частицам.

В ядре хранится наследственная информация не только о всех признаках и свойствах данной клетки, о процессах, которые должны протекать в ней (например, синтез белка), но и о признаках организма в целом. Информация записана в молекулах ДНК, которые являются важной составной частью *хромосом.* Однако основную часть хромосом составляют различные белки. Хромосомы между делениями клетки представляют собой длинные, очень тонкие нити, увидеть которые можно только в электронный микроскоп. Они располагаются равномерно по всему объему ядра, иногда образуя плотные клубки, которые при окраске специальными красителями хорошо видны в световой микроскоп. Хромосомы в световом микроскопе становятся хорошо различимыми при делении клетки, когда они скручиваются в спираль, при этом укорачиваясь и утолщаясь.

В ядрах всегда присутствует одно или несколько *ядрышек* (рис. 11, *9*). Ядрышко формируется определенными участками хромосом; в нем образуются рибосомы. Ядро благодаря наличию в нем хромосом, содержащих наследственную информацию, выполняет функции центра, управляющего всей жизнедеятельностью и развитием клетки.

Ведущая роль ядра в наследственности. Итак, в ядре клеток заключены хромосомы, которые содержат ДНК — хранилище наследственной информации. Этим определяется ведущая роль клеточного ядра в наследственности. Данное важнейшее положение современной биологии не просто вытекает из логических рассуждений, оно доказано рядом точных опытов. Приведем один из них. В Средиземном море обитает несколько видов одноклеточных зеленых водорослей — ацетабулярий. Они состоят из тонких стебельков, на верхних концах которых располагаются шляпки. По форме шляпок различают виды ацетабулярий. В нижнем конце стебелька ацетабулярии находится ядро.

У ацетабулярии одного вида искусственно удалили шляпку и ядро, а к стебельку подсадили ядро, извлеченное у ацетабулярии другого вида. Что же оказалось? Через некоторое время на водоросли с подсаженным ядром образовалась шляпка, характерная именно для вида, которому принадлежало пересаженное ядро (рис. 18).

Хотя ядру принадлежит ведущая роль в явлениях наследственности, из этого, однако, не следует, что только ядро ответственно за

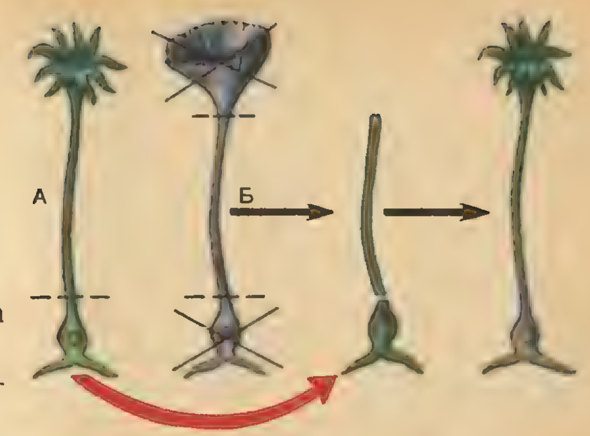


Рис. 18. Схема опыта с ацетобулярией:

А и *Б* — разные виды ацетобулярий

передачу всех свойств из поколения в поколение. В цитоплазме также существуют структуры (хлоропласты и митохондрии), содержащие ДНК и способные передавать наследственную информацию.

Таким образом, именно в ядре каждой клетки содержится основная наследственная информация, необходимая для развития целого организма со всем разнообразием его свойств и признаков. Именно ядро играет центральную роль в явлениях наследственности.

Как же обстоит дело у тех организмов, клетки которых не имеют ядер?

Прокариоты и эукариоты. Все организмы, имеющие клеточное строение, делятся на две группы: *предъядерные (прокариоты)* и *ядерные (эукариоты).*

Клетки прокариот, к которым относятся бактерии, в отличие от эукариот, имеют относительно простое строение. В прокариотической клетке нет организованного ядра, в ней содержится только одна хромосома, которая не отделена от остальной части клетки мембраной, а лежит непосредственно в цитоплазме. Поскольку бактериальная хромосома содержит очень мало белков и представляет собой нить ДНК, она может быть только условно названа хромосомой. Однако в ней также записана вся наследственная информация бактериальной клетки.

Цитоплазма прокариот по сравнению с цитоплазмой эукариотических клеток значительно беднее по составу структур. Там находятся многочисленные более мелкие, чем в клетках эукариот, рибосомы. Функциональную роль митохондрий и хлоропластов в клетках прокариот выполняют специальные, довольно просто устроенные мембранные структуры.

Клетки прокариот, так же как и эукариотические клетки, покрыты плазматической мембраной, поверх которой располагается клеточная оболочка или слизистая капсула. Несмотря на относительную простоту, прокариоты являются типичными независимыми клетками.

Сравнительная характеристика прокариот и эукариот

Признаки	Прокариоты	Эукариоты
Ядерная оболочка	Нет	Есть
ДНК	Замкнута в кольцо (условно называется *бактериальная хромосома*)	Ядерная ДНК представляет собой линейную структуру и находится в хромосомах
Хромосомы	Нет	Есть
Митоз	Нет	Есть
Мейоз	Нет	Есть
Гаметы	Нет	Есть
Митохондрии	Нет	Есть
Пластиды у автотрофов	Нет	Есть
Способ поглощения пищи	Адсорбция через клеточную мембрану	Фагоцитоз и пиноцитоз
Пищеварительные вакуоли	Нет	Есть
Жгутики	Есть	Есть

Сравнительная характеристика клеток эукариот. По строению различные эукариотические клетки сходны. Но наряду со сходством между клетками организмов различных царств живой природы имеются заметные отличия. Они касаются как структурных, так и биохимических особенностей.

Для растительной клетки характерно наличие различных пластид, крупной центральной вакуоли, которая иногда отодвигает ядро к периферии, а также расположенной снаружи плазматической мембраны клеточной стенки, состоящей из целлюлозы. В клетках высших растений в клеточном центре отсутствует центриоль, встречающаяся только у водорослей. Резервным питательным углеводом в клетках растений является *крахмал*.

В клетках представителей царства грибов клеточная стенка обычно состоит из хитина — вещества, из которого построен наружный скелет членистоногих животных. Имеется центральная вакуоль, отсутствуют пластиды. Только у некоторых грибов в клеточном центре встречается центриоль. Запасным углеводом в клетках грибов является *гликоген*.

В клетках животных отсутствует плотная клеточная стенка, нет пластид. Нет в животной клетке и центральной вакуоли. Центриоль характерна для клеточного центра животных клеток. Резервным углеводом в клетках животных также является гликоген.

1. Покажите связь строения ядра с его функцией в клетке.
2. Как можно доказать ведущую роль ядра в клетке?
3. Имеются ли принципиальные различия между прокариотами и эукариотами? Объясните.

Глава III. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КЛЕТКИ

Основным источником энергии для всех живых организмов является Солнце. Клетки животных, многоклеточных и ряда одноклеточных отличаются от клеток большинства растений тем, что не могут непосредственно использовать световую энергию. Они лишены аппарата для улавливания и превращения энергии света. Животные получают энергию, запасенную в углеводах, жирах, белках, витаминах, синтезированных растениями при использовании солнечной энергии. Вот почему энергия Солнца служит всем живым существам.

§ 10. ФОТОСИНТЕЗ

Благодаря энергии солнечного света в растительной клетке происходит синтез АТФ и молекул некоторых других веществ, например углеводов, играющих роль своеобразных аккумуляторов энергии. Энергия, запасенная в этих веществах, используется для синтеза нуклеиновых кислот, белков, углеводов, жиров. *Процесс синтеза органических веществ за счет энергии света* называют *фотосинтезом*.

Организмы, которые способны из неорганических соединений синтезировать органические вещества, называют *автотрофными*. Фотосинтез свойствен только клеткам автотрофных организмов. Растения являются фотосинтезирующими автотрофами. *Гетеротрофные* организмы не способны синтезировать органические вещества из неорганических соединений. Они должны получать их готовыми с пищей. Животные — гетеротрофные организмы.

Клетки зеленых растений и некоторых бактерий имеют специальные структуры и комплексы химических веществ, которые позволяют им улавливать энергию солнечного света.

Роль хлоропластов в фотосинтезе. В клетках растений, как мы знаем, имеются микроскопические образования — хлоропласты (см. § 8). Это органоиды, в которых происходит поглощение энергии света и превращение ее в энергию АТФ и иных молекул — носителей энергии. В гранах хлоропластов содержится хлорофилл — сложное органическое вещество. Хлорофилл улавливает энергию света для использования ее в процессах биосинтеза глюкозы и других органических веществ. Ферменты, необходимые для синтеза глюкозы, расположены также в хлоропластах.

Световая фаза фотосинтеза. Квант красного света, поглощенный хлорофиллом, переводит электрон в возбужденное состояние. Возбужденный светом электрон приобретает большой запас энергии, вследствие чего перемещается на более высокий энергетический уровень. (Способность хлорофилла поглощать красный свет была впервые установлена известным русским ученым К.А. Тими-

рязевым, который много сделал для понимания процессов фотосинтеза.) Возбужденный светом электрон можно сравнить с камнем, поднятым на высоту, который также приобретает потенциальную энергию. Он теряет ее, падая с высоты. Возбужденный электрон, как по ступеням, перемещается по цепи сложных органических соединений, встроенных в хлоропласт. Перемещаясь с одной ступени на другую, электрон теряет энергию, которая используется для синтеза АТФ. Растративший энергию электрон возвращается к хлорофиллу. Новая порция световой энергии вновь возбуждает электрон хлорофилла. Он снова проходит по тому же пути, расходуя энергию на образование молекул АТФ (рис. 19).

Ионы водорода (H^+) и электроны ($\bar{e}$), необходимые для восстановления молекул-носителей энергии, образуются при расщеплении молекул воды. Расщепление молекул воды в хлоропластах осуществляется специальным белком под воздействием света. Называется этот процесс *фотолизом воды*.

Таким образом, энергия солнечного света непосредственно используется растительной клеткой для: 1) возбуждения электронов хлорофилла, энергия которых далее расходуется на образование АТФ и иных молекул-носителей энергии; 2) фотолиза воды, поставляющего ионы водорода и электроны в световую фазу фотосинтеза. При этом выделяется кислород как побочный продукт реакций фотолиза. *Этап, в течение которого за счет энергии света образуются богатые энергией соединения — АТФ и молекулы-носители энергии,* называют *световой фазой фотосинтеза*.

Темновая фаза фотосинтеза. В хлоропластах есть пятиуглеродные сахара, один из которых *рибулозодифосфат*, является акцептором углекислого газа. Особый фермент связывает пятиуглеродный сахар с углекислым газом воздуха. При этом образуются соединения, которые за счет энергии АТФ и иных молекул-носителей энергии восстанавливаются до шестиуглеродной молекулы глюкозы. Таким образом, энергия света, преобразованная в течение световой фазы в энергию АТФ и иных молекул-носителей энергии, используется для синтеза глюкозы. Эти процессы могут идти и в темноте.

Из растительных клеток удалось выделить хлоропласты, которые в пробирке под действием света осуществляли фотосинтез — образовывали новые молекулы глюкозы, при этом поглощали углекислый газ. Если прекращали освещать хлоропласты, то приостанавливался и синтез глюкозы. Однако если к хлоропластам добавляли АТФ и восстановленные молекулы-носители энергии, то синтез глюкозы возобновлялся и мог идти в темноте. Это означает, что свет действительно нужен только для синтеза АТФ и зарядки молекул-носителей энергии. *Поглощение углекислого газа и образование глюкозы в растениях* называют *темновой фазой фотосинтеза*, поскольку она может идти в темноте.

Интенсивное освещение, повышенное содержание углекислого газа в воздухе приводят к повышению активности фотосинтеза. Повышая интенсивность фотосинтеза сельскохозяйственных растений, можно повысить их урожайность.

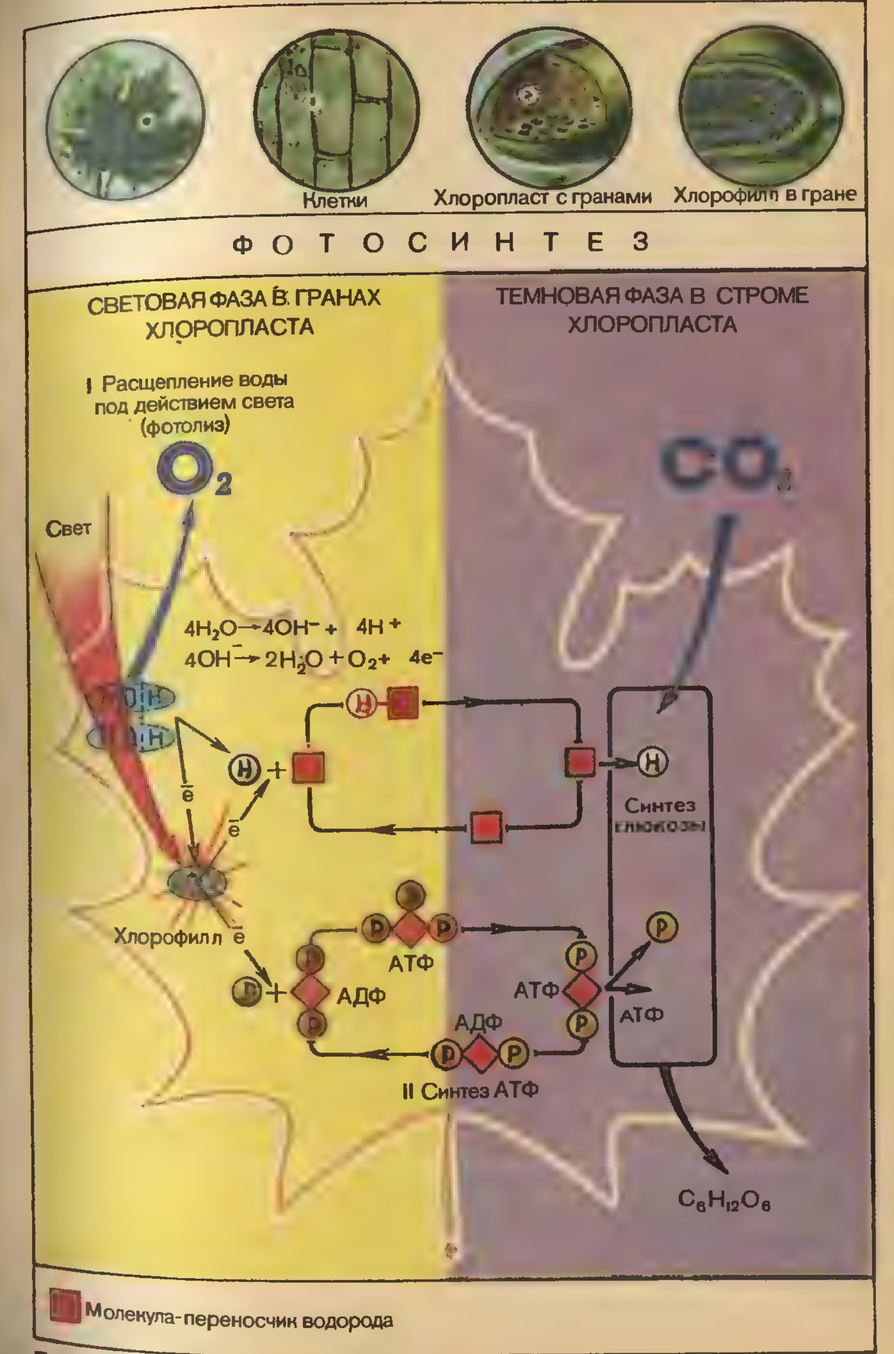


Рис. 19. Схема фотосинтеза

1. Объясните, почему мы говорим, что энергию для всей жизни на Земле изначально поставляет Солнце.
2. Объясните, почему в процессе фотосинтеза используются углекислый газ и вода, и укажите, что служит источником побочного продукта фотосинтеза, т.е. кислорода.
3. Как связаны между собой проблемы фотосинтеза и обеспечения продовольствием населения Земли?
4. Почему при фотосинтезе энергия падающего на лист солнечного света переходит в энергию, запасенную в органических соединениях, с эффективностью всего около 1%? Какова судьба остальной энергии?
5. Заполните таблицу.

Фотосинтез

Фазы фотосинтеза	Процессы, происходящие в этой фазе	Результаты процессов
Световая Темновая		

§ 11. ЭНЕРГИЯ КЛЕТКИ, ВОЗНИКАЮЩАЯ ВСЛЕДСТВИЕ ОКИСЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Превращение органических веществ в клетке. Органические вещества (углеводы, жиры, белки, витамины и др.) образуются в растительных клетках из углекислого газа, воды и минеральных солей.

Поедая растения, животные получают органические вещества в готовом виде. Энергия, запасенная в этих веществах, переходит вместе с ними в клетки гетеротрофных организмов.

В клетках гетеротрофных организмов энергия органических соединений при их окислении превращается в энергию АТФ (см. § 5). При этом гетеротрофные организмы выделяют углекислый газ и воду, которые вновь используются автотрофными организмами для процесса фотосинтеза.

Энергия, запасенная в АТФ, затрачивается на поддержание всех процессов жизнедеятельности: биосинтеза белков и других органических соединений, движения, роста и деления клеток.

Преобразование энергии в клетке. Для всех клеток живых организмов характерна способность к преобразованию одного вида энергии в другой. В каких же клеточных органоидах осуществляются процессы извлечения энергии, запасенной в органических соединениях? Было установлено, что конечный этап распада и окисления молекул глюкозы до углекислого газа с освобождением энергии происходит в митохондриях.

Почему при окислении органических соединений освобождается энергия? Электроны в составе молекул органических соединений

обладают большим запасом энергии, они как бы подняты в них на высокий энергетический уровень. Энергия высвобождается, когда электроны перемещаются с высокого уровня на более низкий уровень в своей или другой молекуле или атоме, которые способны быть приемниками электронов. Таким приемником электронов служит кислород.

В этом и есть его главная биологическая роль. Для этого нам и нужен кислород воздуха.

Рассказывая о фотосинтезе, мы сравнивали электрон хлорофилла, возбужденный светом, с камнем, поднятым на высоту: падая с высоты, он теряет энергию. Такое сравнение уместно и в случае окисления органических соединений.

Кислород, необходимый для процессов окисления, поступает в организм во время дыхания. Поэтому процесс дыхания непосредственно связан с биологическим окислением. Процессы биологического окисления органических веществ осуществляются в митохондриях.

Известно, что при горении органических веществ образуются углекислый газ и вода. При этом энергия выделяется в виде теплоты. Так, присоединяя кислород и окисляясь, горят, например, дрова, нефть, газ (метан).

Окисление органических веществ также сопровождается образованием углекислого газа и воды. Но биологическое окисление в корне отличается от горения. Процессы биологического окисления протекают *ступенчато*, при участии ряда ферментов. При сгорании органических веществ почти вся энергия выделяется в виде теплоты. При биологическом окислении около 50% энергии органических веществ превращается в энергию АТФ, а также иных молекул-носителей энергии. Остальные 50% энергии окисления превращаются в теплоту. Поскольку ферментативные процессы окисления идут ступенчато, тепловая энергия выделяется постепенно и успевает рассеиваться во внешней среде, не повреждая чувствительных к нагреванию белков и других веществ клетки. В этом состоит главное отличие процессов окисления, протекающих в живых организмах, от горения.

1. Как происходит превращение органических веществ в живом мире?
2. Заполните таблицу.

Сходство и различие биологического окисления и горения органических соединений

Характеристика	Биологическое окисление	Сжигание органических соединений
Сходство		
Различие		

§ 12. ФЕРМЕНТАТИВНАЯ СИСТЕМА ОКИСЛЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ

Глюкоза и другие органические соединения, поступая в клетки гетеротрофных организмов, обеспечивают их энергией и строительными материалами. Для гетеротрофных организмов окисление органических соединений — единственный способ получения энергии. Для растений он необходим, когда наступает темнота и фотосинтез не происходит. В это время клетки растений используют для процессов жизнедеятельности запасы органических веществ, созданные ими на свету.

Глюкоза является одним из основных источников энергии для всех живых клеток. Она образуется в клетках растений в результате фотосинтеза. Множество молекул глюкозы в растительных клетках при участии ферментов соединяются между собой, образуя крахмал, который является запасным источником энергии. В клетках животных эту роль выполняет гликоген. При недостаточном поступлении органических веществ извне (или при недостаточном освещении растений) кликоген и крахмал расщепляются ферментами в клетках до глюкозы, которая окисляется в них. Энергия, освобожденная при окислении глюкозы, запасается в молекулах АТФ.

Этапы окисления глюкозы. Как происходит окисление глюкозы в клетках? В этом процессе участвует множество ферментов. Ферментативное окисление глюкозы называют *гликолизом* (от греч. «гликос» — сладкий, «лизис» — расщепление). Известно, что глюкоза, как и многие другие сахара, имеет сладкий вкус. Ферменты, окисляющие глюкозу, составляют своего рода «ферментативный конвейер», на который поступают и на нем последовательно расщепляются и окисляются молекулы глюкозы. Условно весь путь расщепления и окисления глюкозы можно разбить на три этапа.

Первый этап проходит в цитоплазме, вне митохондрий. На этом этапе одна шестиуглеродная молекула глюкозы расщепляется и окисляется до двух трехуглеродных молекул.

Второй этап окисления протекает на внутренних мембранах митохондрий, на кристах, также с помощью специальных ферментов. На этом этапе в результате окисления трехуглеродных осколков глюкозы образуются молекулы-носители энергии, CO_2 и H_2O.

Третий, заключительный, этап окисления глюкозы также протекает на кристах митохондрий. На этом этапе в процессе окисления важную роль играют ферменты, способные переносить электроны. Структуры, обеспечивающие прохождение третьего этапа, называют *цепью переноса электронов.* В цепь переноса электронов поступают молекулы-носители энергии, которые получили энергетический заряд на втором этапе окисления глюкозы.

Электроны от молекул-носителей энергии, как по ступеням, перемещаются по звеньям цепи с более высокого энергетического уровня на менее высокий. Освобождающаяся энергия расходуется на зарядку молекул АТФ. Электроны молекул-носителей энергии, отдавшие энергию на «зарядку» АТФ, соединяются в конечном итоге с кислородом. В результате этого образуется вода. В цепи переноса электронов кислород — конечный приемник электронов.

Таким образом, кислород нужен всем живым существам в качестве конечного приемника электронов. Кислород обеспечивает разность потенциалов в цепи переноса электронов и как бы притягивает электроны с высоких энергетических уровней молекул-носителей энергии на свой низкоэнергетический уровень. По пути этот энергетический «водопад» (точнее «электропад») заряжает энергией молекулы АТФ.

Аэробный и анаэробный гликолиз. *Если окисление глюкозы происходит при участии кислорода, то такой процесс* называют *аэробным гликолизом.* Более половины энергии, освобождаемой при полном окислении молекулы глюкозы, преобразуется в энергию молекул АТФ. Остальная энергия рассеивается в тепло. Следовательно, коэффициент полезного действия (КПД) энергетических систем клетки превышает 50%. Это значительно превышает КПД не только паровых машин (12—15%), но даже двигателей внутреннего сгорания.

Когда нам приходится физически интенсивно работать, мы испытываем одышку — признак нехватки кислорода. При этом энергетические системы клетки переходят на *бескислородный режим работы.* Такой гликолиз называют *анаэробным* (бескислородным). При этом глюкоза, как и при аэробном гликолизе, расщепляется ферментами на две трехуглеродные молекулы. Однако эти молекулы лишь частично окисляются, отдавая малую часть своих электронов не кислороду, а специальному органическому соединению — их переносчику. За счет выделяемой при этом энергии образуются только две молекулы АТФ, тогда как полное окисление одной молекулы глюкозы при аэробном гликолизе дает энергию для образования 36 молекул АТФ.

Чтобы получить такое количество АТФ в результате анаэробного гликолиза, нужно использовать 18 молекул глюкозы, а не одну, как при аэробном гликолизе. При анаэробном гликолизе КПД составляет только 5%, а не 40%, как при аэробном.

Хотя анаэробный гликолиз с первого взгляда невыгоден, он, однако, имеет очень важное значение. Анаэробный гликолиз позволяет клетке и организму в целом выжить даже при очень больших затратах энергии, в условиях острого дефицита кислорода. Некоторые организмы, живущие в среде с очень низким содержанием кислорода, получают энергию только за счет анаэробного гликолиза. Это характерно для бактерий и низших позвоночных, обитающих в морском иле, в глубоких слоях почвы.

Существенно, что не только углеводы, но и жиры и белки расщепляются до соединений, способных окисляться в описанных ферментативных системах. Таким образом, эти системы являются своего рода клеточной «топкой», в которой «сгорают» и углеводы, и жиры, и белки. Энергия, доставляемая любой пищей, в конечном итоге превращается в клетках в энергетический потенциал молекул АТФ, которые используются всеми живыми организмами нашей планеты.

? 1. Как происходит окисление глюкозы в клетке?
? 2. Какова роль «ферментативного конвейера»?
? 3. Энергия какого соединения используется для выполнения различных видов работы в клетке и организме?
? 4. Охарактеризуйте анаэробный гликолиз.

Глава IV. НАСЛЕДСТВЕННАЯ ИНФОРМАЦИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ ЕЕ В КЛЕТКЕ

Организмы обладают способностью передавать следующим поколениям свои признаки и особенности, т. е. воспроизводить себе подобных. Это явление наследования признаков основано на передаче из поколения в поколение *наследственной информации*. Материальным носителем этой информации являются молекулы ДНК.

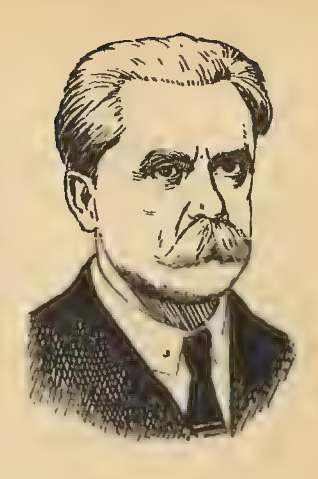
Передача наследственной информации от одного поколения клеток другому, от одного поколения организмов последующему обеспечивается некоторыми фундаментальными свойствами ДНК. Она удваивается в каждом поколении клеток и может неопределенно долго воспроизводиться без каких-либо изменений. Относительно редкие изменения наследственной информации также могут воспроизводиться. Эти свойства определяются структурными особенностями молекул ДНК.

§ 13. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ. УДВОЕНИЕ ДНК

Одна из самых замечательных особенностей жизни состоит в том, что все живые существа характеризуются общностью строения клеток и происходящих в них процессов (см. § 6). Однако они имеют и очень много различий. Даже особи одного вида различаются по многим свойствам и признакам: морфологическим, физиологическим, биохимическим.

Современная биология показала, что в своей основе сходство и различие организмов определяются в конечном счете набором белков. Чем ближе организмы друг к другу в систематическом положении, тем более сходны их белки.

Некоторые белки, выполняющие одинаковые функции, могут иметь сходное строение в клетках не только разных видов, но даже более далеких групп организмов. Например, инсулин (гормон поджелудочной железы), регулирующий количество сахара в крови, близок по строению у собаки и человека. Однако большинство белков, выполняя одну и ту же функцию, несколько отличаются по строению у разных представителей одного и того же вида. Примером могут служить белки групп крови у человека. Такое разнообразие белков лежит в основе специфичности каждого организма.



НИКОЛАЙ КОНСТАНТИНОВИЧ КОЛЬЦОВ (1872—1940) — отечественный зоолог, цитолог, генетик. Основоположник экспериментального метода исследований биологии в нашей стране. Впервые выступил с теорией матричной репродукции хромосом. Основатель Института экспериментальной биологии. Вместе с первым наркомом здравоохранения Н. А. Семашко был инициатором создания Всесоюзного института экспериментальной медицины, на основе которого впоследствии создана Академия медицинских наук СССР.

Известно, что в эритроцитах (красных кровяных клетках дисковидной формы) содержится белок гемоглобин, который доставляет кислород ко всем клеткам тела. Это сложный белок. Каждая его молекула состоит из четырех цепей. У людей, страдающих тяжелым наследственным заболеванием — серповидноклеточной анемией, эритроциты похожи не на диски, как обычно, а на серпы. Причина изменения формы клетки — в различии первичной структуры гемоглобина у больных и здоровых людей. В чем же это различие? В двух из четырех цепей нормального гемоглобина на шестом месте стоит глутаминовая кислота. При серповидноклеточной анемии она заменена на аминокислоту валин. Из 574 аминокислот, входящих в состав гемоглобина, заменены только две (по одной в двух цепях). Но это приводит к существенному изменению третичной и четвертичной структур белка и, как следствие, к изменению формы и нарушению функции эритроцита. Серповидные эритроциты плохо справляются со своей задачей — переносом кислорода.

ДНК — матрица для синтеза белков. Каким же образом в эритроцитах здорового человека образуются миллионы идентичных молекул гемоглобина, как правило, без единой ошибки в расположении аминокислот? Почему в эритроцитах больных серповидноклеточной анемией все молекулы гемоглобина имеют одну и ту же ошибку в одном и том же месте?

Для ответа на эти вопросы обратимся к примеру с книгопечатанием. Учебник, который вы держите в руках, издан тиражом *x* экземпляров. Все *x* книг отпечатаны с одного шаблона — типографской матрицы, поэтому они совершенно одинаковы. Если бы в матрицу вкралась ошибка, то она была бы воспроизведена во всех экземплярах. Роль матрицы в клетках живых организмов выполняют молекулы ДНК. ДНК каждой клетки несет информацию не только о структурных белках, определяющих форму клетки (вспомните эритроцит), но и о всех белках-ферментах, белках-гормонах и других белках.

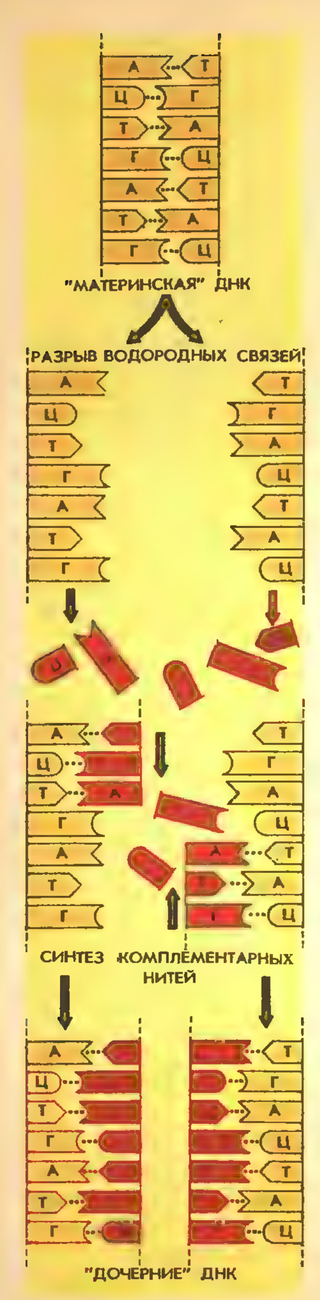


Рис. 20. Схема удвоения ДНК

Поскольку молекулы ДНК являются матрицами для синтеза всех белков, в ДНК заключена информация о структуре и деятельности клеток, о всех признаках клетки и организма в целом.

Каждый белок представлен одной или несколькими полимерными цепями. Участок молекулы ДНК, служащий матрицей для синтеза одного белка, называют *геном.* Поэтому информацию, которая содержит ДНК, называют *генетической.* Идея о том, что генетическая информация записана на молекулярном уровне и что синтез белков идет по матричному принципу, впервые была сформулирована еще в 20-х годах выдающимся отечественным биологом Н. К. Кольцовым.

Удвоение ДНК. Молекулы ДНК обладают поразительным свойством, не присущим ни одной другой из известных молекул, — способностью к удвоению. Что представляет собой процесс удвоения? Вы помните, что двойная спираль ДНК построена по принципу комплементарности (см. с. 19). Этот же принцип лежит в основе удвоения молекул ДНК. С помощью специальных ферментов водородные связи, скрепляющие нити ДНК, разрываются, нити расходятся, и к каждому нуклеотиду каждой из этих нитей последовательно пристраиваются комплементарные нуклеотиды. Разошедшиеся нити исходной (материнской) молекулы ДНК являются матричными — они задают порядок расположения нуклеотидов во вновь синтезируемой цепи. В результате действия сложного набора ферментов происходит соединение нуклеотидов друг с другом. При этом образуются новые нити ДНК, комплементарные каждой из разошедшихся цепей (рис. 20). Таким образом, в результате удвоения создаются две двойные спирали ДНК («дочерние» молекулы), каждая из них имеет одну нить, полученную от «материнской» молекулы, и одну нить, синтезированную вновь.

Дочерние молекулы ДНК ничем не отличаются друг от друга и от материнской молекулы. При делении дочерние молекулы ДНК расходятся по двум дочерним

клеткам, каждая из которых вследствие этого будет иметь ту же информацию, которая содержалась в материнской клетке. Так как гены — это участки молекул ДНК, то две клетки, образующиеся при делении, имеют одинаковые гены.

Каждая клетка многоклеточного организма возникает из одной зародышевой клетки в результате многократных делений, поэтому все клетки организма имеют одинаковый набор генов. Случайно возникшая ошибка в гене зародышевой клетки будет воспроизведена в генах миллионов ее потомков. Вот почему все эритроциты больного серповидноклеточной анемией имеют одинаково «испорченный» гемоглобин. Дети, больные анемией, получают «испорченный» ген от родителей через их половые клетки. Информация, заключенная в ДНК клеток (генетическая информация), передается не только из клетки в клетку, но и от родителей детям. (Подробно об этом будет рассказано в главе VII.) *Ген является единицей генетической, или наследственной, информации.*

Трудно, глядя на типографскую матрицу, судить о том, хорошая или плохая книга будет по ней напечатана. Невозможно судить и о качестве генетической информации по тому, «хороший» или «плохой» ген получили потомки по наследству до тех пор, пока на основе этой информации не разовьется целостный организм. Высокая жизнеспособность организма — показатель полноценности генетической информации.

1. Какие вещества обусловливают индивидуальные различия организмов?
2. Может ли замена одной аминокислоты в цепи сказаться на функции белка?
3. Как вы понимаете фразу: «Молекулы ДНК — матрицы для синтеза белков»?
4. Какой принцип лежит в основе удвоения молекул ДНК?
5. Одинакова ли генетическая информация в клетке печени и в нервной клетке одного организма?

§ 14. ОБРАЗОВАНИЕ и-РНК ПО МАТРИЦЕ ДНК. ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД

Ход образования и-РНК. К рибосомам, местам синтеза белков, из ядра поступает несущий информацию посредник, способный пройти через поры ядерной мембраны. Таким посредником является информационная РНК (и-РНК). Это одноцепочечная молекула, комплементарная одной нити молекулы ДНК (см. § 4). Специальный фермент — полимераза, двигаясь по ДНК, подбирает по принципу комплементарности нуклеотиды и соединяет их в единую цепочку (рис. 21). Процесс образования и-РНК называется *транскрипцией.* Если в нити ДНК стоит тимин, то полимераза включает в цепь

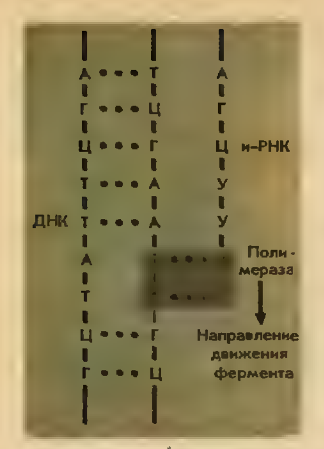


Рис. 21. Схема образования и-РНК по матрице ДНК

и-РНК аденин, если стоит гуанин — включает цитозин, если аденин — то урацил (в состав РНК не входит тимин).

По длине каждая из молекул и-РНК в сотни раз короче ДНК. Информационная РНК — копия не всей молекулы ДНК, а только части ее, одного гена или группы рядом лежащих генов, несущих информацию о структуре белков, необходимых для выполнения одной функции.

В начале каждой группы генов находится своего рода посадочная площадка для полимеразы. Только присоединившись к ней, полимераза способна начать синтез и-РНК. В конце группы генов фермент встречает сигнал (в виде определенной последовательности нуклеотидов), означающий конец переписывания. Готовая и-РНК отходит от ДНК, покидает ядро и направляется к месту синтеза белков — рибосоме, расположенной в цитоплазме клетки.

В клетке генетическая информация передается только от ДНК к белку:

ДНК→и-РНК→белок.

Генетический код и его свойства. Генетическая информация, содержащаяся в ДНК и в и-РНК, заключена в последовательности расположения нуклеотидов в молекулах. Каким же образом и-РНК кодирует (определяет) первичную структуру белков, т. е. порядок расположения аминокислот в них? Суть кода заключается в том, что последовательность расположения нуклеотидов в и-РНК определяет последовательность расположения аминокислот в белках. Этот *код* называют *генетическим,* его расшифровка — одно из великих достижений науки. Носителем генетической информации является ДНК, но так как непосредственное участие в синтезе белка принимает и-РНК — копия одной из нитей ДНК, то генетический код записан на «языке» РНК.

Код триплетен. В состав РНК входят 4 нуклеотида: **А, Г, Ц, У.** Если бы мы пытались обозначить одну аминокислоту одним нуклеотидом, то можно было бы зашифровать лишь 4 аминокислоты, тогда как их 20 и все они используются в синтезе белков. Двухбуквенный код позволил бы зашифровать 16 аминокислот (из 4 нуклеотидов можно составить 16 различных комбинаций, в каждой из которых имеется 2 нуклеотида).

В природе же существует трехбуквенный, или триплетный, код. Это означает, что каждая из 20 аминокислот зашифрована последовательностью 3 нуклеотидов, т. е. триплетом, который получил название *кодон.* Из 4 нуклеотидов можно создать 64 различные комбинации, по 3 нуклеотида в каждой (4^3=64). Этого с избытком хватает

для кодирования 20 аминокислот и, казалось бы, 44 триплета являются лишними. Однако это не так. Почти каждая аминокислота шифруется более чем одним кодоном (от 2 до 6). Это видно из таблицы генетического кода.

Таблица генетического кода

Аминокислота	Кодирующие триплеты — кодоны					
Аланин	ГЦУ	ГЦЦ	ГЦА	ГЦГ		
Аргинин	ЦГУ	ЦГЦ	ЦГА	ЦГГ	АГА	АГГ
Аспарагин	ААУ	ААЦ				
Аспарагиновая кислота	ГАУ	ГАЦ				
Валин	ГУУ	ГУЦ	ГУА	ГУГ		
Гистидин	ЦАУ	ЦАЦ				
Глицин	ГГУ	ГГЦ	ГГА	ГГГ		
Глутамин			ЦАА	ЦАГ		
Глутаминовая кислота			ГАА	ГАГ		
Изолейцин	АУУ	АУЦ	АУА			
Лейцин	ЦУУ	ЦУЦ	ЦУА	ЦУГ	УУА	УУГ
Лизин			ААА	ААГ		
Метионин				АУГ		
Пролин	ЦЦУ	ЦЦЦ	ЦЦА	ЦЦГ		
Серин	УЦУ	УЦЦ	УЦА	УЦГ	АГУ	АГЦ
Тирозин	УАУ	УАЦ				
Треонин	АЦУ	АЦЦ	АЦА	АЦГ		
Триптофан				УГГ		
Фенилаланин	УУУ	УУЦ				
Цистеин	УГУ	УГЦ				
Знаки препинания			УГА	УАГ	УАА	

Код однозначен. Каждый триплет шифрует только одну аминокислоту. У всех здоровых людей в гене, несущем информацию об одной из цепей гемоглобина, триплет **ГАА** или **ГАГ,** стоящий на шестом месте, кодирует глутаминовую кислоту. У больных серповидноклеточной анемией второй нуклеотид в этом триплете заменен на **У.** Как видно из таблицы генетического кода (см. Приложение, табл. 2), триплеты **ГУА** или **ГУГ,** которые в этом случае образуются, кодируют аминокислоту валин. К чему приводит такая замена, вы знаете из § 13.

Между генами имеются знаки препинания. Каждый ген кодирует одну белковую цепочку. Так как в ряде случаев и-РНК является копией нескольких генов и по ней последовательно создаются разные цепи, то они должны быть отделены друг от друга. Поэтому в генетическом коде существуют три специальные триплета **(УАА, УАГ, УГА),** каждый из которых обозначает прекращение синтеза одной белковой цепи. Таким образом эти

триплеты выполняют функцию знаков препинания. Они находятся в конце каждого гена.

Внутри гена нет знаков препинания. Поскольку генетический код подобен языку, разберем это его свойство на примере такой, составленной из триплетов, фразы:

жил был кот тих был сер мил мне тот кот.

Смысл написанного понятен, несмотря на отсутствие знаков препинания. Если же мы уберем в первом слове одну букву (один нуклеотид в гене), но читать будем также тройками букв, то получится бессмыслица:

илб ылк отт ихб ылс ерм илм нет отк от.

Бессмыслица возникает и при выпадении одного или двух нуклеотидов из гена. Белок, который считывается с такого «испорченного» гена, не будет иметь ничего общего с тем белком, который кодировался нормальным геном. Поэтому ген в цепи ДНК имеет строго фиксированное начало считывания.

Код универсален. Код един для всех живущих на Земле существ. У бактерий, гриба, человека, краба, астры одни и те же триплеты кодируют одни и те же аминокислоты.

1. Какой принцип лежит в основе процвсса синтвза и-РНК?
2. Что называют генетическим кодом? Перечислите основные свойства генетического кода.
3. Объясните, почему синтез белка происходит не непосредственно по матрице ДНК, а по и-РНК.
4. Используя таблицу генетического кода (см. Приложение, табл. 2), нарисуйте участок ДНК, в котором закодирована информация о следующей последовательности аминокислот в белке: — аргинин — триптофан — тирозин — гистидин — фенилаланин —.

§ 15. БИОСИНТЕЗ БЕЛКОВ

Как уже было сказано в § 4, информационная РНК, несущая сведения о первичной структуре белковых молекул, синтезируется в ядре. Пройдя через поры ядерной оболочки, и-РНК направляется к рибосомам, где осуществляется расшифровка генетической информации — перевод ее с «языка» нуклеотидов на «язык» аминокислот.

Аминокислоты, из которых синтезируются белки, доставляются к рибосомам с помощью специальных РНК, называемых *транспортными* (т-РНК). Эти небольшие молекулы, состоящие из 70—90 нуклеотидов, способны сворачиваться таким образом, что образуют структуры, напоминающие по форме лист клевера. В клетке имеется столько же разных типов т-РНК, сколько типов кодонов, шифрующих аминокислоты. На вершине каждого «листа» т-РНК имеется последовательность трех нуклеотидов, комплементарных нуклеотидам кодона в и-РНК. Такая последовательность нуклеотидов в структуре т-РНК называется *антикодоном.* Специальный фермент «узнает» антикодон и присоединяет к «основанию листа» т-РНК не какую угодно, а определенную, «свою» аминокислоту. В этом состоит *первый этап синтеза.*

Для того чтобы аминокислота включилась в цепь белка, она должна оторваться от т-РНК. На *втором этапе синтеза* белка т-РНК выполняет функцию переводчика с «языка» нуклеотидов на «язык» аминокислот. Такой перевод происходит на рибосоме. В ней имеется два участка: на одном т-РНК получает команду от и-РНК — антикодон узнает кодон, на другом — выполняется приказ — аминокислота отрывается от т-РНК.

Третий этап синтеза белка заключается в том, что фермент синтетаза присоединяет оторвавшуюся от т-РНК аминокислоту к растущей белковой молекуле. Информационная РНК непрерывно скользит по рибосоме, каждый триплет сначала попадает в первый участок, где узнается антикодоном т-РНК, затем на второй участок. Сюда же переходит т-РНК с присоединенной к ней аминокислотой, здесь аминокислоты отрываются от т-РНК и соединяются друг с другом в той последовательности, в которой триплеты следуют один за другим (рис.22).

Когда на рибосоме в первом участке оказывается один из трех триплетов, являющихся знаками препинания между генами, это означает, что синтез белка завершен. Готовая цепь белка отходит от рибосомы.

Процесс синтеза белковой молекулы требует больших затрат энергии. На соединение каждой аминокислоты с т-РНК расходуется энергия одной молекулы АТФ. Средний по размерам белок состоит из 500 аминокислот, следовательно, столько же молекул АТФ расщепляется в процессе его синтеза. Кроме того, энергия нескольких молекул АТФ нужна для движения и-РНК по рибосоме.

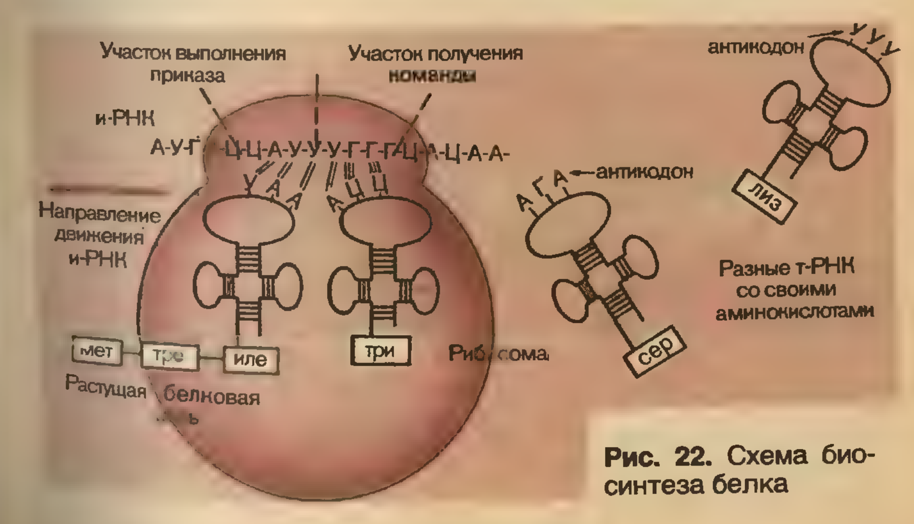


Рис. 22. Схема биосинтеза белка

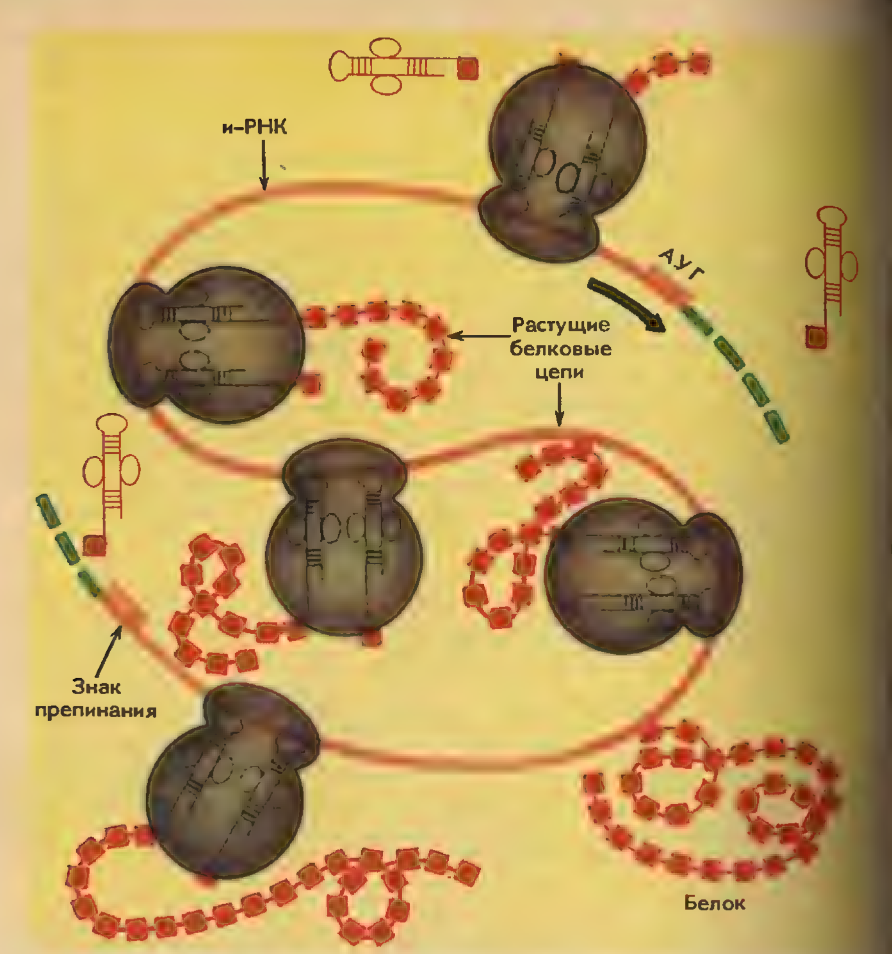


Рис. 23. Синтез белков на полисоме

Для увеличения производства белков и-РНК часто одновременно проходит не через одну, а через несколько рибосом последовательно. Такую структуру, объединенную одной молекулой и-РНК, называют *полисомой.* На каждой рибосоме в таком, похожем на нитку бус, конвейере последовательно синтезируются несколько молекул одинаковых белков (рис. 23).

Аминокислоты бесперебойно поставляются к рибосомам с помощью т-РНК. Отдав аминокислоту, молекула т-РНК тут же соединяется с другой такой же аминокислотой. Высокая слаженность всех «служб комбината» по производству белков позволяет в течение нескольких минут синтезировать молекулы, состоящие из сотен аминокислот. Синтез белка на рибосомах носит название *трансляции.*

Как было сказано в § 13, матричный принцип биосинтеза в настоящее время полностью доказан. Он составляет одно из важнейших положений современной науки.

1. Для чего у каждого вида т-РНК имеется свой фермент для присоединения аминокислоты?
2. Представьте себе, что в клетке изменился один из нуклеотидов антикодона т-РНК. Как это повлияет на синтез белка?
3. Какая последовательность аминокислот зашифрована следующей последовательностью нуклеотидов в и-РНК:
—А—У—Г—Ц—У—У—У—У—А—Г—У—У—А—Г—А—Г—У—Г—?

§ 16. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ И КЛЕТОЧНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

Генетическая инженерия. Развитие молекулярной биологии привело к ряду открытий, имеющих важное практическое значение.

К числу таких практических достижений принадлежит создание методов синтеза и выделения генов, положивших начало *генетической инженерии.*

Мы знаем уже, что гены представляют собой участки ДНК, которые кодируют ферменты, белковые гормоны, защитные, транспортные и иные белки.

Многие из этих белков, синтезируемых в клетках бактерий, животных или растений, представляют большую практическую ценность для медицины, сельского хозяйства, промышленности. Однако такие белки чаще всего производятся клетками в очень малых количествах и поэтому широкое использование их затруднено или невозможно. Так, важное значение для медицины могло бы иметь производство белкового гормона роста. Встречаются дети, рост которых задержан из-за недостатка в организме этого гормона. Такие дети на всю жизнь остаются лилипутами. Введение этого гормона обеспечило бы им нормальный рост.

Если бы мы научились вводить в клетки растений новые гены, кодирующие полноценные белки, то такие растения не отличались бы по пищевой ценности от продуктов животного происхождения. Недостаток животных продуктов (молока, яиц, мяса, рыбы), которые содержат все необходимые аминокислоты, испытывает более половины населения Земли.

В клетках некоторых бактерий есть белки, которые способны с высокой эффективностью превращать световую энергию Солнца в электрическую энергию. Если бы мы могли производить такие белки в больших количествах, то на их основе можно было бы создать промышленные установки для получения дешевой электроэнергии. Эти и многие другие задачи позволяет решать генетическая инженерия.

Сегодня известно несколько способов получения генов, кодирующих необходимые белки. Так, разработаны методы химического

синтеза молекул ДНК с заданной последовательностью нуклеотидов. Более того, уже синтезирован таким способом ряд генов, кодирующих белковые гормоны и интерфероны — белки, защищающие человека и животных от вирусов.

Наконец, необходимые гены можно не синтезировать, а выделять готовыми из множества генов, имеющихся в составе ДНК клеток данного типа. Разработана специальная техника выделения одиночных нужных генов из всей массы ДНК, где их имеется несколько десятков тысяч.

Синтезированный или выделенный ген встраивают в самокопирующуюся ДНК бактериального вируса и вводят в бактериальную клетку. Такие бактерии начинают синтезировать человеческий или животный гормон, нужный фермент или интерферон. Этим способом в бактерию можно ввести программу синтеза любого белка человека, животного или растения.

На рисунке 24 показана одна из схем получения гена, кодирующего нужный нам белок. На первом этапе из клеток выделяют и-РНК. Затем на ней, как на матрице, синтезируют нить комплементарной ей ДНК. Благодаря этому получается гибридная ДНК-РНК молекула. После удаления РНК из этой молекулы на оставшейся одноцепочечной ДНК (называемой к-ДНК) осуществляют синтез второй нити. В результате возникает полноценная молекула ДНК. Используя специальные ферменты, ее встраивают в кольцевую ДНК *плазмид* (внехромосомных молекул ДНК), которые выполняют роль переносчика нужного гена. На последнем этапе плазмиды со вставкой встраиваются в бактериальную хромосому. В ней перенесенный ген человека, животного, растения или другого микроорганизма начинает работать, и в бактериальной клетке накапливается необходимый белок, остается лишь выделить его из бактериальной массы. Такие бактерии размножают в промышленных масштабах и получают необходимый белок в больших количествах. Все эти технологические приемы основаны на успехах в познании физико-химических основ жизни. Решение практических задач с помощью описанных методов молекулярной биологии и генетики и составляет сущность генетической инженерии.

Клеточная инженерия. Биотехнология. К генетической инженерии примыкает *клеточная инженерия*, основанная на успехах клеточной биологии. Ученые научились соединять клетки разных видов растений, объединяя их генетические программы. Такие клетки приобретают новые свойства, становятся производителями

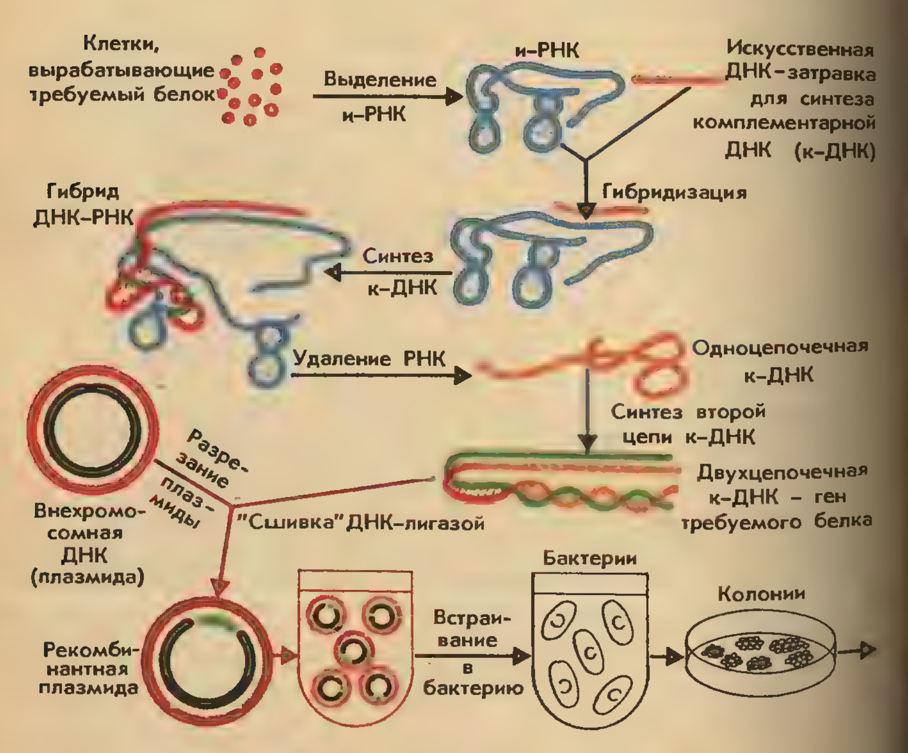


Рис. 24. Схема получения гена требуемого белка

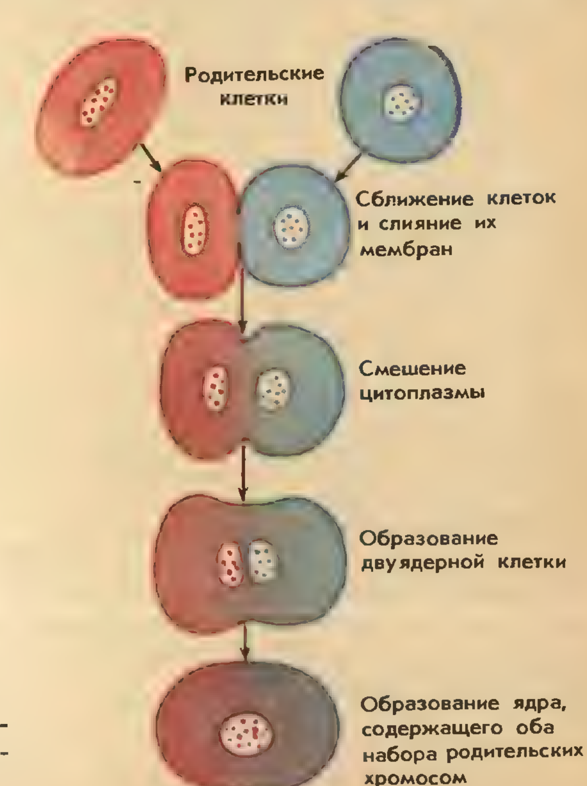


Рис. 25. Образование гибридной клетки

ценных лекарственных или пищевых веществ, витаминов. Из таких гибридных клеток можно выращивать целые растения с новыми свойствами, объединяющие признаки растений разных видов, которые обычно не скрещиваются между собой. В зародыши клеток животных научились вводить новые гены и получать животных с новыми наследуемыми свойствами.

Человечество вступило в новую эпоху конструирования генетических программ и на этой основе новых видов микроорганизмов, растений, животных. В технике начинается широкое использование физико-химических принципов работы живой клетки, ее энергетических устройств для решения практических задач и создания промышленных технологий. Возникло перспективное направление в биологии — *биотехнология.*

Использование принципов работы клеток и самих биологических устройств в технике — важная задача биотехнологии.

? 1. Что лежит в основе генной инженерии?

▶ 2. Какое значение может иметь клеточная инженерия для практической деятельности?

Раздел II.

РАЗМНОЖЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМОВ

Глава V.

РАЗМНОЖЕНИЕ ОРГАНИЗМОВ

Каждую секунду на Земле гибнет от старости, болезней и хищников астрономическое количество живых существ, и только благодаря размножению, этому универсальному свойству организмов, жизнь на Земле не прекращается.

На первый взгляд может показаться, что процессы размножения у живых существ очень разнообразны, однако все их можно свести к двум формам: бесполому и половому. У некоторых организмов могут встречаться разные формы размножения. Например, многие растения могут размножаться черенками, отводками, клубнями, даже листьями (бесполое размножение) и семенами (половое).

При половом размножении каждый организм развивается из одной клетки, образующейся от слияния двух половых клеток — мужской и женской.

В основе размножения и индивидуального развития организма лежит процесс деления клеток.

§ 17. ДЕЛЕНИЕ КЛЕТКИ. МИТОЗ

Способность к делению — важнейшее свойство клеток. Без деления невозможно представить себе увеличение числа одноклеточных существ, развитие сложного многоклеточного организма из одной оплодотворенной яйцеклетки, возобновление клеток, тканей и даже органов, утраченных в процессе жизнедеятельности организма.

Деление клеток осуществляется поэтапно. На каждом этапе деления происходят определенные процессы. Они приводят к удвоению генетического материала (синтезу ДНК) и его распределению между дочерними клетками. *Период жизни клетки от одного деления до следующего* называется *клеточным циклом.*

Подготовка к делению. Эукариотические организмы, состоящие из клеток, имеющих ядра, начинают подготовку к делению на определенном этапе клеточного цикла, в *интерфазе.*

Именно в период интерфазы в клетке происходит процесс биосинтеза белка, удваиваются все важнейшие структуры клетки.

Вдоль исходной хромосомы из имеющихся в клетке химических соединений синтезируется ее точная копия, удваивается количество ДНК. Удвоенная хромосома состоит из двух половинок — *хроматид*. Каждая из хроматид содержит одну молекулу ДНК.

Интерфаза в клетках растений и животных в среднем продолжается 10—20 ч. Затем наступает процесс деления клетки — *митоз*.

Во время митоза клетка проходит ряд последовательных фаз, в результате которых каждая дочерняя клетка получает такой же набор хромосом, какой был в материнской клетке.

Фазы митоза. Различают следующие четыре фазы митоза: профаза, метафаза, анафаза и телофаза. На рисунке 26 схематически показан ход митоза. В *профазе* хорошо видны центриоли — образования, находящиеся в клеточном центре и играющие роль в делении

ХОД МИТОЗА	
ФАЗЫ	ПРОЦЕССЫ
Профаза	Хромосомы спирализуются,в результате чего становятся видимыми. Каждая хромосома состоит из двух хроматид. Ядерная мембрана и ядрышко разрушаются.Центриоль удваивается в клетках животных
Метафаза	Хромосомы располагаются по экватору клетки, образуется двухполюсное веретено деления
Анафаза	Центромеры делятся, и хроматиды (дочерние хромосомы) расходятся с помощью нитей веретена деления к полюсам клетки
Телофаза	Исчезает веретено деления. Вокруг разошедшихся хромосом образуется новая ядерная мембрана. Образуются две дочерние клетки

Рис. 26. Схема митоза

дочерних хромосом животных. (Напомним, что у высших растений нет центриолей в клеточном центре, который организует деление хромосом.) Мы же рассмотрим митоз на примере животной клетки, поскольку присутствие центриоли делает процесс деления хромосом более наглядным. Центриоли делятся и расходятся к разным полюсам клетки. От центриолей протягиваются микротрубочки, образующие нити веретена деления, которое регулирует расхождение хромосом к полюсам делящейся клетки.

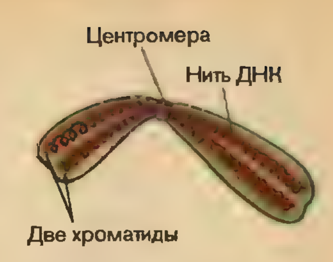


Рис. 27. Строение метафазной хромосомы

В конце профазы ядерная оболочка распадается, ядрышко постепенно исчезает, хромосомы спирализуются и в результате этого укорачиваются и утолщаются, и их уже можно наблюдать в световой микроскоп. Еще лучше они видны на следующей стадии митоза — *метафазе*.

В метафазе хромосомы располагаются в экваториальной плоскости клетки. При этом хорошо видно, что каждая хромосома, состоящая из двух хроматид, имеет перетяжку — *центромеру* (рис. 27). Хромосомы своими центромерами прикрепляются к нити веретена деления. После деления центромеры каждая хроматида становится самостоятельной дочерней хромосомой.

Затем наступает следующая стадия митоза — *анафаза*, во время которой дочерние хромосомы (хроматиды одной хромосомы) расходятся к разным полюсам клетки.

Следующая стадия деления клетки — *телофаза*. Она начинается после того, как дочерние хромосомы, состоящие из одной хроматиды, достигли полюсов клетки. На этой стадии хромосомы вновь деспирализуются и приобретают такой же вид, какой они имели до начала деления клетки в интерфазе (длинные тонкие нити). Вокруг них возникает ядерная оболочка, а в ядре формируется ядрышко, в котором синтезируются рибосомы. В процессе деления цитоплазмы все органоиды (митохондрии, комплекс Гольджи, рибосомы и др.) распределяются между дочерними клетками более или менее равномерно.

Таким образом, в результате митоза из одной клетки получаются две, каждая из которых имеет характерное для данного вида организма число и форму хромосом, а следовательно, постоянное количество ДНК.

Весь процесс митоза занимает в среднем 1—2 ч. Продолжительность его несколько различна для разных видов клеток. Зависит он также и от условий внешней среды (температуры, светового режима и других показателей).

Биологическое значение митоза заключается в том, что он обеспечивает постоянство числа хромосом во всех клетках организма. Все соматические клетки образуются в результате митотического

деления, что обеспечивает рост организма. В процессе митоза происходит распределение веществ хромосом материнской клетки строго поровну между возникающими из нее двумя дочерними клетками. В результате митоза все клетки организма получают одну и ту же генетическую информацию.

? 1. Какие изменения в клетке предшествуют делению?
? 2. Когда образуется веретено деления? Какова его роль?
? 3. Охарактеризуйте функцию митоза при клеточном делении и кратко расскажите, как происходит этот процесс.
? 4. Что такое хроматида? Когда она становится хромосомой?
? 5. Что такое центромера? Какую роль она выполняет при митозе?
? 6. В чем заключается биологическое значение митоза?
○ Вспомните из курса зоологии размножение простейших; из курса анатомии, физиологии и гигиены человека — размножение в органическом мире.

§ 18. БЕСПОЛОЕ И ПОЛОВОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ

Бесполое размножение. *Размножение, которое осуществляется без участия половых клеток,* называется *бесполым.* В бесполом размножении участвует только одна родительская особь. Поскольку клетки (или в случае простейших одна клетка), из которых развивается дочерний организм, делятся митозом, то дочерний организм сходен по наследственным признакам с материнской особью.

В природе встречается несколько видов бесполого размножения. У одноклеточных животных и растений (амебы, инфузории, водоросли) ядро вначале делится митозом надвое. Затем родительская особь путем перетяжки делится на две одинаковые части, каждая из которых образует дочерний организм. Такое размножение называется *простым делением.* Дочерние клетки ничем не отличаются от родителей, получая тот же набор хромосом.

У многих растений (водоросли, мхи, папоротники), грибов и некоторых одноклеточных животных на определенной стадии жизненного цикла образуются *споры.* Это специальные клетки, часто защищенные плотными оболочками, охраняющими их в неблагоприятных условиях среды (холод, высыхание, перегрев). *Спорообразование* — один из механизмов, обеспечивающих бесполое размножение. При возникновении благоприятных условий среды оболочка споры раскрывается, клетка многократно делится митозом и дает начало новому организму.

У растений широко развито *вегетативное размножение.* В результате такого размножения новый организм образуется из группы клеток материнского растения, поэтому дочерние особи, образовавшиеся в результате вегетативного размножения, обладают наследственными признаками материнского организма.

У некоторых грибов и животных, например инфузорий, гидр, от родительской особи отделяется небольшой участок тела, из которого впоследствии развивается новый организм. Такой способ бесполого размножения называют *почкованием.* Почка может отделиться от родительской особи, и тогда новый организм становится самостоятельным.

Таким образом, в результате бесполого размножения воспроизводится большое количество генетически идентичных организмов. По наследственным задаткам они практически полностью копируют родительский организм.

Половое размножение. В половом размножении принимают участие, как правило, две родительские особи, каждая из которых участвует в образовании нового организма, внося лишь одну половую клетку — *гамету* (яйцеклетку или сперматозоид), имеющую вдвое меньшее число хромосом, чем неполовые клетки родителей. В результате слияния гамет образуется оплодотворенная яйцеклетка — *зигота,* несущая наследственные задатки обоих родителей, благодаря чему резко увеличивается наследственная изменчивость потомков. В этом заключается преимущество полового размножения над бесполым.

Низшие многоклеточные организмы наряду с бесполым размножением могут также размножаться и половым путем. У нитчатых водорослей одна из клеток претерпевает несколько делений, в результате чего образуются маленькие подвижные *гаметы* одинакового размера с вдвое уменьшенным числом хромосом. Гаметы затем попарно сливаются и образуют одну клетку, а из нее впоследствии развиваются новые особи. У более высокоорганизованных растений и животных половые клетки не одинаковы по величине. Одни гаметы богаты запасными питательными веществами и неподвижны — *яйцеклетки;* другие, маленькие, подвижные — *сперматозоиды.*

Гаметы образуются в специализированных органах — *половых железах.* У высших животных женские гаметы (яйцеклетки) образуются в *яичниках,* мужские (сперматозоиды) — в *семенниках.*

Довольно широко распространенной разновидностью полового размножения является *партеногенез,* при котором развитие нового организма происходит из неоплодотворенной яйцеклетки.

У дафний (небольших рачков, населяющих стоячие водоемы) и у тлей партеногенез наблюдается обычно в нескольких летних поколениях, состоящих из одних самок. В конце лета из части яиц развиваются не только самки, но и самцы; в результате полового процесса самки откладывают оплодотворенные яйца, которые способны перезимовывать и переносить другие неблагоприятные условия. Весной перезимовавшие яйца активизируются, из них развиваются самки, дающие летом многочисленные партеногенетические поколения самок.

Иногда можно искусственно вызвать партеногенез у тех видов животных, у которых в природе он либо не происходит, либо происходит очень редко. Так, если уколоть иглой неоплодотворенное яйцо лягушки, то можно стимулировать его развитие и получить взрослую лягушку, которая возникнет из одной только половой клетки (яйцеклетки) и будет обладать лишь признаками матери.



БОРИС ЛЬВОВИЧ АСТАУРОВ (1904—1974) — отечественный генетик и эмбриолог. Экспериментально доказал ведущую роль ядра в наследовании признаков вида. Впервые разработал способы направленного получения 100% особей одного пола на тутовом шелкопряде, заложив тем самым основы теории регуляции пола.

Выдающийся советский генетик Б. Л. Астауров разработал метод получения партеногенетического женского потомства тутового шелкопряда. Этот метод заключается в том, что неоплодотворенные яйца подвергаются непродолжительному нагреванию до 46°С, благодаря чему можно быстро получить большое количество ценных в генетическом отношении самок тутового шелкопряда.

▶ 1. Есть ли принципиальные различия между бесполым и половым размножением?
▶ 2. Какая форма бесполого размножения используется в сельском хозяйстве? Приведите примеры.
▶ 3. Как вы считаете, в чем заключается практическое значение знаний о различных видах размножения организмов? Как эти знания использует человек?
▶ 4. Какие преимущества имеются у организмов в связи с чередованием полового и бесполого размножения?
▶ 5. Изобразите разнообразие способов размножения в виде схемы.
○ Повторите § 18.

§ 19. МЕЙОЗ

Половое размножение животных, растений и грибов связано с формированием специализированных половых клеток. *Особый тип деления клеток, в результате которого образуются половые клетки*, называют *мейозом* (рис. 28). В отличие от митоза, при котором сохраняется число хромосом, получаемых дочерними клетками, при мейозе число хромосом в дочерних клетках уменьшается вдвое.

Процесс мейоза состоит из двух последовательных клеточных делений — мейоза I (первое деление) и мейоза II (второе деление). Удвоение ДНК и хромосом происходит только перед мейозом I.

ХОД МЕЙОЗА

ФАЗЫ	ПРОЦЕССЫ
Первое деление мейоза	
Профаза I	Спаривание гомологичных хромосом (одна из них материнская, другая-отцовская). Образование аппарата деления
Метафаза I	Расположение гомологичных хромосом по экватору
Анафаза I	Разделение пар хромосом (состоящих из двух хроматид) и перемещение их к полюсам
Телофаза I	Образование дочерних клеток
Второе деление мейоза	
Профаза II Метафаза II Анафаза II	Возникшие в телофазе I дочерние клетки проходят митотическое деление. Центромеры делятся, хроматиды хромосом обеих дочерних клеток расходятся к их полюсам
Телофаза II	Образование четырех гаплоидных ядер или клеток (образование спор у мхов и папоротников)

Рис. 28. Схема мейоза

В результате первого деления мейоза, называемого *редукционным*, образуются клетки с уменьшенным вдвое числом хромосом. Второе деление мейоза заканчивается образованием половых клеток. Таким образом, все соматические клетки организма содержат *двойной, диплоидный* (2*n*), набор хромосом, где каждая хромосома имеет парную, гомологичную хромосому. Зрелые половые клетки имеют лишь *одинарный, гаплоидный* (*n*), набор хромосом и соответственно вдвое меньшее количество ДНК.

Фазы мейоза. Во время *профазы I* мейоза двойные хромосомы хорошо видны в световой микроскоп. Каждая хромосома состоит из двух хроматид, которые связаны вместе одной центромерой. В процессе спирализации двойные хромосомы укорачиваются. Гомологичные хромосомы тесно соединяются друг с другом продольно (хроматида к хроматиде), или, как говорят, *конъюгируют*. При этом хроматиды нередко перекрещиваются или перекручиваются одна вокруг другой. Затем гомологичные двойные хромосомы начинают как бы отталкиваться друг от друга. В местах перекреста хроматид происходят поперечные разрывы и обмены их участками. Это явление называют *перекрестом хромосом* (рис. 29). Одновременно, как и при митозе, распадается ядерная оболочка, исчезает ядрышко, образуются нити веретена. Отличие профазы I мейоза от профазы митоза состоит в конъюгации гомологичных хромосом и взаимном обмене участками в процессе перекреста хромосом.

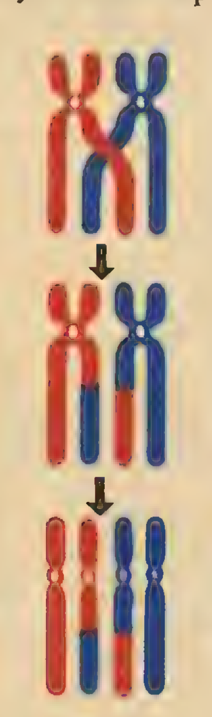


Рис. 29. Перекрест хромосом в мейозе

Характерный признак *метафазы I* — расположение в экваториальной плоскости клетки гомологичных хромосом, лежащих парами. Вслед за этим наступает *анафаза I*, во время которой целые гомологичные хромосомы, каждая состоящая из двух хроматид, отходят к противоположным полюсам клетки. (Заметим, что при митозе к полюсам деления расходились хроматиды.) Очень важно подчеркнуть одну особенность расхождения хромосом на этой стадии мейоза: гомологичные хромосомы каждой пары расходятся в стороны случайным образом, независимо от хромосом других пар. У каждого полюса оказывается вдвое меньше хромосом, чем было в клетке при начале деления. Затем наступает *телофаза I*, во время которой образуются две клетки с уменьшенным вдвое числом хромосом.

Интерфаза короткая, так как синтеза ДНК не происходит. Далее следует второе мейотическое деление (мейоз II). Оно отличается от митоза только тем, что количество хромосом в *метафазе II* вдвое меньше, чем количество хромосом в метафазе митоза у того же организма. Поскольку каждая хромосома состоит из двух хроматид, то в метафазе II центромеры хромосом делятся, и к полюсам расходятся хроматиды, которые становятся дочерними хромосомами. Только теперь наступает настоящая интерфаза. Из каждой исходной клетки возникают четыре клетки с гаплоидным набором хромосом.

Разнообразие гамет. Рассмотрим мейоз клетки, имеющей три пары хромосом (2n=6). В этом случае после двух мейотических делений образуются четыре клетки с гаплоидным набором хромосом (n=3). Поскольку хромосомы каждой пары расходятся в дочерние клетки независимо от хромосом других пар, равновероятно образование восьми типов гамет с различным сочетанием хромосом, присутствовавших в исходной материнской клетке.

Еще большее разнообразие гамет обеспечивается конъюгацией и перекрестом гомологичных хромосом в профазе мейоза, что имеет очень большое общебиологическое значение.

Биологическое значение мейоза. Если бы в процессе мейоза не происходило уменьшения числа хромосом, то в каждом следующем поколении при слиянии ядер яйцеклетки и сперматозоида число хромосом увеличивалось бы бесконечно. Благодаря мейозу зрелые половые клетки получают гаплоидное (n) число хромосом, при оплодотворении же восстанавливается свойственное данному виду диплоидное (2n) число. При мейозе гомологичные хромосомы попадают в разные половые клетки, а при оплодотворении парность гомологичных хромосом восстанавливается. Следовательно, обеспечивается постоянный для каждого вида полный диплоидный набор хромосом и постоянное количество ДНК.

Происходящие в мейозе перекрест хромосом, обмен участками, а также независимое расхождение каждой пары гомологичных хромосом определяют закономерности наследственной передачи признака от родителей потомству. Из каждой пары двух гомологичных хромосом (материнской и отцовской), входивших в хромосомный набор диплоидных организмов, в гаплоидном наборе яйцеклетки или сперматозоида содержится лишь одна хромосома. Она может быть: 1) отцовской хромосомой; 2) материнской хромосомой; 3) отцовской с участком материнской; 4) материнской с участком отцовской. Эти процессы возникновения большого количества качественно различных половых клеток способствуют наследственной изменчивости.

В отдельных случаях вследствие нарушения процесса мейоза, при нерасхождении гомологичных хромосом, половые клетки могут не иметь гомологичной хромосомы или, наоборот, иметь обе гомологичные хромосомы. Это приводит к тяжелым нарушениям в развитии организма или к его гибели.

? 1. Сравните между собой митоз и мейоз, выделите черты сходства и различия.

▶ 2. Охарактеризуйте понятия: *мейоз, диплоидный набор хромосом, гаплоидный набор хромосом, конъюгация.*

? 3. Какое значение имеет независимое расхождение гомологичных хромосом в первом делении мейоза?

? 4. В чем заключается биологическое значение мейоза?

○ Вспомните из курса зоологии, как осуществляется оплодотворение у животных.

§ 20. ОБРАЗОВАНИЕ ПОЛОВЫХ КЛЕТОК И ОПЛОДОТВОРЕНИЕ

Сперматогенез и овогенез. По рассмотренной выше схеме мейоза идет *сперматогенез* — образование мужских половых клеток у животных и человека. На рисунке 30, *А* дано схематическое изображение сперматогенеза.

Сперматогенез начинается с того, что незрелая половая клетка увеличивается в размерах и приступает к первому делению мейоза. Из исходной образуются две клетки, которые претерпевают второе деление мейоза. В результате двух мейотических делений из каждой незрелой мужской половой клетки образуются четыре зрелые клетки с гаплоидным набором хромосом (n). Превращение этих клеток в сперматозоиды связано со сложными процессами роста и специализации, но не сопровождается клеточным делением.

Образование женских половых гамет — *овогенез* идет по той же схеме, но с некоторыми существенными отличиями.

В результате неравномерного распределения цитоплазмы как при первом, так и при втором делениях мейоза только в одной

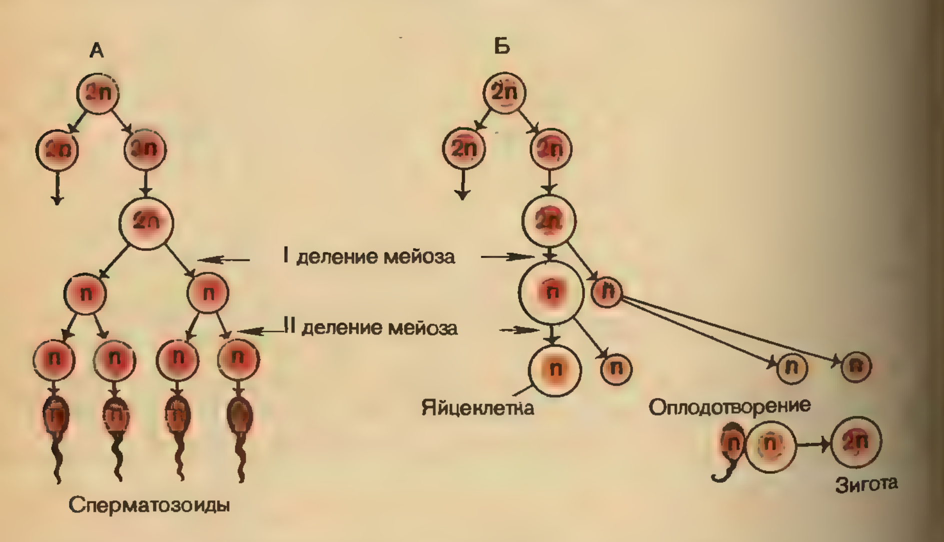


Рис. 30. Образование половых клеток:

Сперматогенез (*А*) и овогенез (*Б*); *2n* — диплоидный набор хромосом; *n* — гаплоидный набор хромосом

клетке оказывается большой запас питательных веществ, необходимых для развития будущего зародыша. Следовательно, образуется только одна зрелая яйцеклетка с гаплоидным набором хромосом (n) и три маленькие клеточки, которые впоследствии исчезают (рис. 30, *Б*). При овогенезе наряду с мейозом происходит так называемое *созревание* яйцеклетки, во время которого значительно увеличивается ее объем.

Описанное выше различие сперматогенеза и овогенеза способствует образованию во много раз бо́льшего числа сперматозоидов по сравнению с яйцеклетками. Это необходимо для обеспечения оплодотворения наибольшего числа яйцеклеток и, следовательно, для сохранения вида.

Строение половых клеток. Яйцеклетки разных организмов различаются по своему строению и размерам. Так, у мыши яйцеклетка имеет диаметр около 60 мкм, у человека — 150—200 мкм, а у страуса он равен нескольким сантиметрам. Форма яйцеклетки обычно округлая, в ее цитоплазме расположены митохондрии, рибосомы и большое количество запасных питательных веществ в виде желточных зерен и белка. Ядро яйцеклетки активно функционирует, что связано с процессами биосинтеза белка.

Сперматозоиды намного мельче яйцеклеток. У разных животных они разной формы, но большинство из них имеет головку и хвостик. При созревании сперматозоидов после мейоза, в отличие от яйцеклетки, происходит уменьшение размеров их клетки. Ядро уменьшается и перемещается в головку сперматозоида, бо́льшая часть цитоплазмы исчезает, остается лишь комплекс Гольджи, который участвует в растворении оболочки яйцеклетки при оплодотворении. Митохондрии сосредоточены у основания хвостика и поставляют энергию для его колебаний. Благодаря колебаниям хвостика зрелые сперматозоиды активно движутся в окружающей их среде и достигают яйцеклеток.

Оплодотворение у животных. Число и размеры половых клеток различны у разных животных и растений. Однако наблюдается такая закономерность: чем меньше вероятность встречи яйцеклетки и сперматозоида, тем большее число половых клеток образуется в организме. Например, рыбы мечут икру (яйцеклетки) и сперму прямо в воду. Количество икринок у некоторых из них достигает громадной величины (треска выметывает около 10 млн. икринок). У высших растений и животных образуется обычно небольшое количество яйцеклеток (до нескольких десятков), так как у них вероятность оплодотворения при значительно бо́льшем количестве сперматозоидов (или пыльцы) очень велика.

Процесс оплодотворения состоит из нескольких этапов: проникновения сперматозоида в яйцо, слияния гаплоидных ядер обеих гамет с образованием диплоидной клетки зиготы, активации ее к дроблению и дальнейшему развитию.

На примере лягушки рассмотрим, как происходит оплодотворение у животных. Неоплодотворенная икринка (яйцеклетка) покрыта несколькими защитными оболочками, предохраняющими

ее от воздействия неблагоприятных внешних условий. Сперматозоиды активно передвигаются в воде и передним концом головки пробуравливают защитные оболочки яйцеклетки. Как только сперматозоид проник в яйцеклетку, ее оболочки приобретают свойства, препятствующие доступу других сперматозоидов. Это обеспечивает слияние ядра яйца с ядром одного сперматозоида. У некоторых животных в яйцеклетку проникают два или несколько сперматозоидов, но в оплодотворении принимает участие лишь один, остальные погибают. В результате образуется оплодотворенная яйцеклетка, содержащая уже двойной, диплоидный набор хромосом.

Оплодотворение у растений. Оплодотворение у растений в принципе сходно с таковым у животных, но имеет свои особенности. Рассмотрим пример оплодотворения у цветкового растения с диплоидным набором хромосом. В этом случае в пыльнике образуются гаплоидные микроспоры — пыльцевые зерна.

Гаплоидное ядро пыльцевого зерна делится на два ядра: вегетативное и генеративное. Обычно в это время пыльцевое зерно попадает на рыльце пестика и, образуя пыльцевую трубку, прорастает по направлению к завязи. В завязи находится зародышевый мешок с восемью гаплоидными клетками, одна из которых — яйцеклетка. В пыльцевой трубке генеративное ядро делится еще раз, образуя два спермия. Один из них сливается с ядром яйцеклетки, и в результате образуется зигота с диплоидным набором хромосом. Из нее развивается диплоидный зародыш семени — будущее растение. Другой спермий сливается с двумя ядрами центральных клеток (две клетки из восьми, находящихся в зародышевом мешке). В результате возникает триплоидный эндосперм, т.е. содержащий три набора хромосом (рис. 31). В клетках такого эндосперма содержится запас питательных веществ, необходимых для развития зародыша растения. Этот процесс называют *двойным оплодотворением*. Его открыл известный русский ботаник С.Г. Навашин.

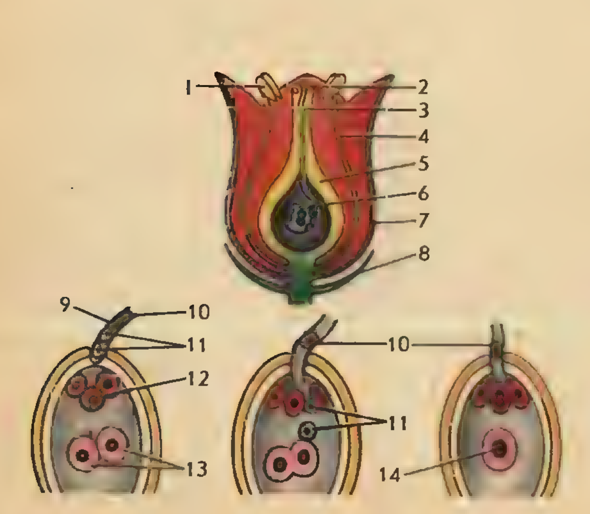


Рис. 31. Двойное оплодотворение у цветковых растений.

Вверху — продольный разрез цветка; *внизу* — проникновение пыльцевой трубки в зародышевый мешок:

1 — пыльник; *2* — прорастающее пыльцевое зерно; *3* — рыльце; *4* — тычиночная нить; *5* — завязь; *6* — зародышевый мешок; *7* — венчик; *8* — чашечка; *9* — пыльцевая трубка; *10* — вегетативное ядро; *11* — спермии; *12* — яйцеклетка; *13* — центральные клетки; *14* — зачаток эндосперма

Биологическое значение оплодотворения. Биологическое значение оплодотворения состоит в том, что при слиянии женской и мужской половых клеток (происходящих, как правило, от двух разных особей) образуется новый организм, несущий в себе признаки матери и отца. При образовании половых клеток в мейозе возникают гаметы с разным сочетанием хромосом, поэтому образующиеся после оплодотворения новые организмы могут сочетать в себе признаки обоих родителей в самых различных комбинациях. В результате этого происходит колоссальное увеличение наследственного разнообразия организмов.

? 1. Какие существенные различия имеются в строении женских и мужских половых клеток?
▶ 2. В чем, на ваш взгляд, состоит преимущество внутреннего оплодотворения по сравнению с наружным?
? 3. Что происходит со сперматозоидом и яйцеклеткой при созревании?
? 4. Каково значение эндосперма у цветковых растений?
? 5. В чем биологическое значение оплодотворения?
○ Вспомните из курса анатомии, физиологии и гигиены человека, как протекает развитие зародыша человека.

Глава VI. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМОВ

Процесс индивидуального развития особи от момента образования зиготы до конца жизни организма носит название *онтогенеза*. Онтогенез — процесс, присущий любому живому существу, независимо от сложности его организации. Каким образом из оплодотворенной яйцеклетки развивается новый сложный организм с большим числом так непохожих друг на друга органов и тканей? Каковы механизмы реализации той генетической информации, которая заключена в оплодотворенной яйцеклетке?

§ 21. ЗАРОДЫШЕВОЕ РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМОВ

Дробление зиготы. Через несколько часов после оплодотворения наступает первая стадия зародышевого развития, называемая *дроблением*, в результате которого зигота делится митозом на две клетки. Две образующиеся клетки (рис. 32) не разъединяются. Затем каждая клетка опять делится также на две и получается зародыш, состоящий из четырех, восьми клеток и т.д. В процессе дробления количество клеток быстро растет, они становятся все мельче



Рис. 32. Дробление и начало развития оплодотворенного яйца ланцетника:

а — оплодотворенное яйцо; *б* — стадия 2 клеток; *в* — 4 клеток; *г* — 8 клеток; *д* — 16 клеток; *е* — 32 клеток; *ж* — бластула; *з* — бластула в разрезе; *и* — начало образования гаструлы; *к* — гаструла; *л* — ранняя нейрула; *м* — нейрула: *1* — бластоцель; *2* — эктодерма; *3* — энтодерма; *4* — полость первичной кишки; *5* — мезодерма; *6* — нервная пластинка; *7* — хорда

и мельче. Клетки в процессе дробления образуют сферу, внутри которой возникает полость; с момента возникновения полости зародыш называется *бластулой.* Бластула состоит уже из нескольких сотен мелких клеток, но по размеру не отличается от зиготы.

Гаструла. Образование трех зародышевых слоев. Вскоре после образования бластулы наступает следующая стадия развития зародыша — *гаструла* (рис. 32). В процессе образования гаструлы продолжаются митотические деления клеток и происходят существенные изменения в строении зародыша.

Наиболее широко распространенным способом образования гаструлы является впячивание внутрь участка стенки бластулы. При

образовании гаструлы клетки делятся митозом очень быстро и число их резко увеличивается. В отличие от бластулы гаструла представляет собой двухслойный мешок, наружный слой клеток которого называют *эктодермой.* Внутренний слой гаструлы, выстилающий ее полость, называют *энтодермой.*

У зародышей многоклеточных животных, за исключением губок и кишечнополостных, закладывается еще и третий зародышевый слой — *мезодерма.* Мезодерма образуется между первым и вторым зародышевыми слоями — эктодермой и энтодермой.

Образование органов. Деление клеток и их перемещение продолжаются и на следующей стадии, называемой *нейрулой* (рис. 32). Главная особенность этой стадии заключается в том, что в это время начинается закладка отдельных органов будущей личинки или взрослого организма. На стадии нейрулы из эктодермы начинается развитие нервной пластинки, а затем нервной трубки. Из нее впоследствии развиваются головной и спинной мозг. Остальная эктодерма дает начало наружному слою кожного покрова, органам зрения и слуха. Одновременно энтодерма образует трубку — будущий кишечник, выросты которого впоследствии превращаются в легкие, печень, поджелудочную железу. Мезодерма дает начало хорде, мышцам, почкам, хрящевому и костному скелету, а также кровеносным сосудам будущего организма.

В клетках эмбриональных зачатков органов активно работают разные участки хромосом (разные гены), что приводит к синтезу различных белков.

Начальные стадии развития животных имеют много общего для всех организмов. Это является одним из доказательств единства происхождения всех живых организмов на Земле.

Взаимовлияние частей развивающегося зародыша. Специфичность работы клеток некоторых зачатков органов возникает не сразу, а лишь на определенной стадии развития зародыша. Доказано, что зачатки будущих органов на стадии ранней гаструлы некоторых животных (земноводные, рыбы) могут изменить ход своего развития, если их пересадить на другое место той же или другой гаструлы.

У эмбрионов есть участки, способные влиять на развитие соседних органов. Данные о таком взаимодействии были получены в опытах по пересадкам участка эктодермы, из которой формируется нервная система, на стадии гаструлы одной лягушки под брюшную эктодерму зародыша другой лягушки, находящегося на той же стадии гаструлы (рис. 33). В процессе нормального развития этот участок влияет на формирование расположенной около него спинной эктодермы в нервную пластинку. В условиях опыта, кроме нормально развивающейся нервной системы вокруг участка, пересаженного от другой особи, также образовались нервная трубка, хорда, начиналось развитие второго головного и спинного мозга, так что получился двойной эмбрион. Следовательно, пересаженный участок является *организатором,* который влияет на окружающие его ткани, т.е. обладает способностью направлять развитие клеток, приходящих в соприкосновение с ним.

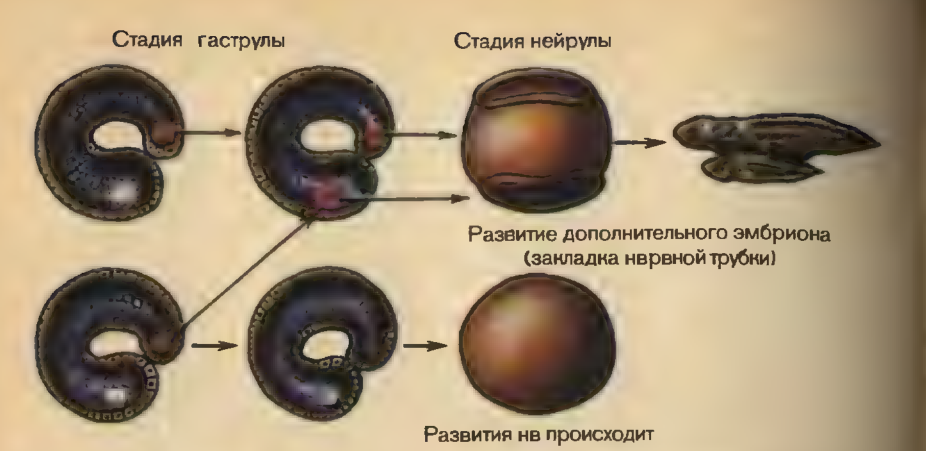


Рис. 33. Взаимодействие частей развивающегося зародыша (схема пересадки участка эктодермы)

Были обнаружены и другие организаторы, оказывающие влияние на развитие прилежащих участков. Постепенно включаясь, они обеспечивают последовательность протекания процесса развития зародыша. Подобные организаторы были найдены при изучении развития зародышей птиц, млекопитающих, беспозвоночных, растений.

Влияние внешних условий на развитие организмов. Огромное влияние на развитие зародыша оказывают условия внешней среды, в которой формируется будущий организм. Большое значение для процесса развития организма имеют температура, свет, влажность, действие химических соединений и др. Изменение внешних условий может ускорить или затормозить его развитие.

Вредное влияние на развитие зародыша человека оказывает употребление его родителями алкоголя и курение табака. Алкоголь и никотин табака являются ядами, которые не только подрывают здоровье взрослого человека, но и могут привести к необратимым изменениям ДНК хромосом в половых клетках. Последнее, несомненно, повлияет на жизнеспособность зародыша или вызовет его неправильное развитие. Во время внутриутробного развития зародыша человека, в периоды формирования и быстрого роста отдельных органов употребление алкоголя и курение могут привести будущего ребенка к различным уродствам и даже к умственной отсталости.

1. Сформулируйте определение понятий *бластула, гаструла* и *нейрула,* используя рисунок 32.
2. Как можно доказать влияние одних частей зародыша на другие?
3. Какой вред развивающемуся зародышу может нанести употребление наркотика, алкоголя и табака?

§ 22. ОРГАНИЗМ КАК ЕДИНОЕ ЦЕЛОЕ

Условия, в которых живут организмы, постоянно меняются. Часто эти изменения носят резко выраженный характер. Изменяются температура, освещенность, влажность, кормовая обеспеченность, количество хищников и паразитов и т. д. Для того чтобы выжить в таких условиях, любой организм должен противостоять вредному влиянию внешних факторов. Процессы приспособления организма происходят постоянно и не прекращаются вплоть до его гибели.

Уровни приспособления организма к изменяющимся условиям. Каким образом организмы приспособляются к условиям окружающей среды? Существует несколько уровней, на которых протекает этот процесс. *Клеточный уровень* — один из важнейших.

Рассмотрим в качестве примера, как приспосабливается к условиям среды одноклеточный организм — кишечная палочка. Известно, что она хорошо растет и размножается в среде, содержащей единственный сахар — глюкозу. При обитании в такой среде ее клеткам не нужен фермент, необходимый для превращения другого сахара, например лактозы в глюкозу. Но если бактерии выращивать в среде, содержащей лактозу, то в клетках сразу начинается интенсивный синтез фермента, превращающего лактозу в глюкозу. Следовательно, кишечная палочка способна перестраивать свою жизнедеятельность так, что становится приспособленной к новым условиям среды. Приведенный пример относится и ко всем другим клеткам, включая клетки высших организмов.

Другой уровень, на котором происходит приспособление организмов к условиям окружающей среды, — *тканевый.* Тренировка приводит к развитию органов: у тяжелоатлетов — мощная мускулатура; у людей, занимающихся подводным погружением, сильно развиты легкие; у отличных стрелков и охотников — особая острота зрения. Многие качества организма могут быть развиты в значительной мере тренировкой. При некоторых заболеваниях, когда особенно большая нагрузка приходится на печень, наблюдается резкое увеличение ее размеров. Таким образом, отдельные органы и ткани способны отвечать на изменение условий существования, приспособление организма к условиям внутренней и внешней среды.

Саморегуляция. Организм представляет собой сложную систему, способную к *саморегуляции.* Саморегуляция позволяет организму эффективно приспосабливаться к изменениям окружающей среды. Способность к саморегуляции в сильной степени выражена у высших позвоночных, особенно у млекопитающих. Достигается это благодаря мощному развитию нервной, кровеносной, иммунной, эндокринной и пищеварительной систем.

Изменение условий с неизбежностью влечет за собой перестройку их работы. Например, нехватка кислорода в воздухе приводит к интенсификации работы кровеносной системы, учащается пульс, возрастает количество гемоглобина в крови. В результате организм приспосабливается к изменившимся условиям.

Постоянство внутренней среды при систематически меняющихся окружающих условиях создается совместной деятельностью всех систем организма. У высших животных это выражается в поддержании постоянной температуры тела, в постоянстве химического, ионного и газового состава, давления, частоты дыхания и сердечных сокращений, постоянном синтезе нужных веществ и разрушении вредных.

Обмен веществ — обязательное условие и способ поддержания стабильности организации живого. Без обмена веществ невозможно существование живого организма. Обмен веществ и энергии между организмом и внешней средой — неотъемлемое свойство живого.

Особую роль в поддержании постоянства внутренней среды играет *иммунная* (защитная) *система.* Русский ученый И. И. Мечников был одним из первых биологов, доказавших ее огромную важность. Клетки иммунной системы выделяют специальные белки — антитела, которые активно обнаруживают и уничтожают все чужое для данного организма.

Поддержание относительного постоянства внутренней среды организма называют *гомеостазом.* Гомеостаз — важнейшее свойство целостного организма.

Биологические часы. Далеко не всегда организмы жестко поддерживают характеристики внутренней среды на одном и том же уровне. Часто внешние изменения влекут за собой перестройку внутренней среды. Пример того — изменение физиологического состояния организмов в зависимости от изменений длины дня в течение года, или, как говорят, изменений *фотопериодических условий (фотопериодизма).*

У многих животных, обитающих в умеренном климате, сезон размножения совпадает с увеличением длины светового дня. Изменение фотопериодических условий в данном случае — ведущий фактор. Сезонные ритмы наиболее ярко проявляются в смене покровов у деревьев лиственных лесов, смене оперения птиц и волосяного покрова млекопитающих, в периодических остановках и возобновлении роста растений, зимних спячках некоторых животных, в сезонности размножения и т.д.

Изучение явлений суточной, сезонной и лунной периодичности живых организмов показало, что все эукариоты (одноклеточные и многоклеточные) обладают так называемыми *биологическими часами.* Другими словами, организмы обладают способностью измерять суточные, лунные и сезонные циклы.

Известно, что приливно-отливные течения в океане вызываются влиянием Луны. В течение лунных суток вода поднимается (и отступает) либо дважды, либо один раз, в зависимости от района Земли. Морские животные, обитающие в таких периодически меняющихся условиях, способны измерять время приливов и отливов с помощью биологических часов. Двигательная активность, потребление кислорода и многие физиологические процессы у крабов, актиний, раков-отшельников и других обитателей прибрежных участков морей закономерно изменяются в течение лунных суток.

Ход биологических часов может перестраиваться в зависимости от изменившихся условий. Примером такого процесса является изменение ритмов многих физиологических функций: температуры тела, давления крови, фазы двигательной активности и покоя у человека, совершившего перелет из Москвы на Камчатку, где солнце встает на 9 ч раньше. При быстром перелете на дальние расстояния перестройка биологических часов происходит не сразу, а в течение нескольких дней.

Суточные ритмы жизнедеятельности многих организмов определяются чередованием света и темноты: началом рассвета или сумерек. Скворцы за час до захода солнца собираются в стаи в течение 10—30 мин и улетают в места ночевки за десятки километров. Они никогда не опаздывают благодаря своим биологическим часам, которые подстраиваются под Солнце. В целом суточная периодичность складывается в результате координации многих ритмов, как внутренних, так и внешних.

В ряде случаев причина периодических колебаний внутренней среды заключена в самом организме. Эксперименты над животными показали, что в условиях абсолютной темноты и звуковой изоляции периоды отдыха и бодрствования последовательно чередуются, укладываясь в промежуток времени, близкий к 24 ч.

Итак, колебания внутренней среды организма можно рассматривать как один из факторов, поддерживающих ее постоянство.

Анабиоз. Часто организмы попадают в такие условия среды, в которых продолжение нормальных жизненных процессов невозможно. В подобных случаях некоторые организмы могут впадать в *анабиоз* (от греч. «ана» — вновь, «биос» — жизнь), т.е. состояние, характеризующееся резким снижением или временным прекращением обмена веществ. Анабиоз является важным приспособлением многих видов живых существ к неблагоприятным условиям обитания. Споры микроорганизмов, семена растений, яйца животных — примеры анабиотического состояния. В отдельных случаях анабиоз может продолжаться сотни и даже тысячи лет, по прошествии которых семена не теряют всхожести. Глубокое замораживание спермы и яиц особо ценных сельскохозяйственных животных для их длительного хранения и последующего широкого употребления — пример использования анабиоза в практической деятельности людей.

1. Приведите примеры, подтверждающие приспособленность организмов к условиям среды на клеточном и тканевом уровнях.
2. Охарактеризуйте любой организм с точки зрения его приспособленности к условиям обитания.
3. Как вы считаете, можно ли способность организмов измерять время и впадать в состояние анабиоза рассматривать как примеры саморегуляции? Ответ обоснуйте.
4. Как, по-вашему, можно использовать знания о биологических часах и анабиозе в практической деятельности?

Повторите §13.

Раздел III.
ОСНОВЫ ГЕНЕТИКИ И СЕЛЕКЦИИ

Глава VII. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЯВЛЕНИЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

С незапамятных времен людей волновал вопрос о причинах сходства потомков и родителей, о природе вновь возникающих изменений. Наука и практика накопили к середине XIX в. огромный фактический материал. Но в чем причины сходства и различия организмов, долгое время установить не удавалось.

Первый шаг в познании закономерностей наследственности сделал выдающийся чешский исследователь Грегор Мендель. Он выявил важнейшие законы наследственности. Г. Мендель доказал, что признаки организмов определяются *дискретными* (отдельными) наследственными факторами. Работа Г. Менделя отличалась глубиной и математической точностью. Однако она оставалась неизвестной почти 35 лет — с 1865 до 1900 г.

Переоткрытие законов Менделя вызвало стремительное развитие *науки о наследственности и изменчивости организмов,* получившей название *генетики. Элементарные единицы наследственности* стали называть *генами.* Было доказано, что гены расположены в хромосомах. Но молекулярная структура генов еще долгое время оставалась неизвестной.

В настоящее время установлено, что *ген представляет собой участок молекулы ДНК в хромосоме.* Ген определяет строение одного из белков живой клетки и тем самым участвует в формировании признака или свойства организма (см. §13).

Успехи, достигнутые генетикой, столь значительны, что она занимает центральное место в общей биологии.

§ 23. МОНОГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ. ПЕРВЫЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ

Гибридологический метод. Основной метод, который Г. Мендель разработал и положил в основу своих опытов, называют *гибридологическим.* Суть его заключается в *скрещивании (гибридизации)* организмов, отличающихся друг от друга по одному или нескольким признакам. Поскольку потомков от таких скрещиваний называют *гибридами,* то и метод получил название гибридологического.



ГРЕГОР МЕНДЕЛЬ (1822—1884) — выдающийся чешский ученый. Основоположник генетики. Впервые обнаружил существование наследственных факторов, впоследствии названных генами.

Одна из особенностей метода Менделя состояла в том, что он использовал для экспериментов *чистые линии,* т.е. растения, в потомстве которых при самоопылении не наблюдалось разнообразия по изучаемому признаку. (В каждой из чистых линий сохранялась однородная совокупность генов.) Другой важной особенностью гибридологического метода было то, что Г. Мендель наблюдал за наследованием *альтернативных* (взаимоисключающих, контрастных) *признаков.* Например, растения низкие и высокие; цветки белые и пурпурные; форма семян гладкая и морщинистая и т.д. Не менее важная особенность метода — точный количественный учет каждой пары альтернативных признаков в ряду поколений. Математическая обработка опытных данных позволила Г. Менделю установить количественные закономерности в передаче изучаемых признаков. Очень существенно было то, что Г. Мендель в своих опытах шел аналитическим путем: он наблюдал наследование многообразных признаков не сразу в совокупности, а лишь одной пары (или небольшого числа пар) альтернативных признаков.

Гибридологический метод лежит и в основе современной генетики.

Единообразие первого поколения. Правило доминирования. В том случае, когда родительские организмы отличаются друг от друга по одному изучаемому признаку, скрещивание называют *моногибридным.* Г. Мендель проводил опыты с горохом. Среди большого количества сортов он выбрал для первого эксперимента два, отличающихся по одному признаку. Семена одного сорта гороха были желтые, а другого — зеленые. Известно, что горох, как правило, размножается путем самоопыления и поэтому в пределах сорта нет изменчивости по окраске семян. Используя это свойство гороха, Г. Мендель произвел искусственное опыление, скрестив сорта, отличающиеся цветом семян (желтым и зеленым). Независимо от того, к какому сорту принадлежали материнские растения, гибридные семена оказались только желтыми.

Следовательно, у гибридов первого поколения проявился признак только одного родителя. Такие признаки Г. Мендель назвал *доминантными.* Признаки, не проявляющиеся у гибридов первого поколения, он назвал *рецессивными.* В опытах с горохом признак желтой окраски семян доминировал над зеленой окраской. Таким образом, в потомстве гибридов Г. Мендель обнаружил *единообразие первого поколения,* т.е. все гибридные семена имели одинаковую окраску. В опытах, где скрещивающиеся сорта отличались и по другим признакам, были получены такие же результаты: единообразие первого поколения и доминирование одного признака над другим.

Впоследствии генетики, изучая наследование разнообразных признаков у растений, животных, грибов, микроорганизмов, обнаружили очень широкое распространение явления доминирования.

Расщепление признаков у гибридов второго поколения. Первый закон Менделя. Из гибридных семян гороха Г. Мендель вырастил растения, которые путем самоопыления произвели семена второго поколения. Среди них оказались не только желтые семена, но и зеленые. Всего он получил 6022 желтых и 2001 зеленое семя. Причем $^3/_4$ семян гибридов второго поколения имели желтую окраску и $^1/_4$ — зеленую. Следовательно, отношение числа потомков второго поколения с доминантным признаком к числу потомков с рецессивным оказалось равным 3:1. Такое явление он назвал *расщеплением признаков.*

Сходные результаты во втором поколении дали многочисленные опыты по гибридологическому анализу других пар признаков. Основываясь на полученных результатах, Г. Мендель сформулировал свой *первый закон — закон расщепления. В потомстве, полученном от скрещивания гибридов первого поколения, наблюдается явление расщепления: четверть особей из гибридов второго поколения несет рецессивный признак, три четверти — доминантный.*

Гомозиготные и гетерозиготные особи. Для того чтобы выяснить, как будет осуществляться наследование признаков при самоопылении в третьем поколении, Мендель вырастил гибриды второго поколения и проанализировал потомство, полученное от самоопыления. Он выяснил, что $^1/_3$ растений второго поколения, выросших из желтых семян, при самоопылении производила только желтые семена. То же самое отмечалось у растений, выросших из зеленых семян. Все семена, полученные от них, были зелеными. Оставшиеся $^2/_3$ растений второго поколения, выросшие из желтых семян, давали желтые и зеленые семена в отношении 3:1. Таким образом, эти растения были подобны гибридам первого поколения.

Итак, Менделем впервые был установлен факт, свидетельствующий о том, что растения, сходные по внешнему виду, могут резко отличаться по наследственным свойствам. Особи, не дающие расщепления в следующем поколении, получили название *гомозиготные* (от греч. «гомо» — равный, «зигота» — оплодотворенная яйцеклетка). Особи, в потомстве у которых обнаруживается расщепление, назвали *гетерозиготными* (от греч. «гетеро» — разный).

Причина расщепления признаков у гибридов. Какова причина расщепления признаков в потомстве гибридов? Почему в первом, втором и последующих поколениях возникают особи, дающие в результате скрещивания потомство с доминантным и рецессивным признаками? Обратимся к схеме, на которой символами записаны результаты опыта по моногибридному скрещиванию. Символы P, F_1, F_2 и т. д. обозначают соответственно родительское, первое и второе поколения. Значок × указывает скрещивание, символ ♂ обозначает мужской пол (щит и копье Марса), а ♀ — женский пол (зеркало Венеры).

Ген, отвечающий за доминантный желтый цвет семян, обозначим большой буквой, например А; ген, отвечающий за рецессивный зеленый цвет, — малой буквой а.

Схема образования зигот при моногибридном наследовании такова:

P ♀ AA × ♂ aa

Гаметы A a

F_1 ♀ Aa × ♂ Aa

Гаметы A a A a

F_2 AA Aa Aa aa

где P — родители, F_1 — гибриды первого поколения, F_2 — гибриды второго поколения.

Для дальнейших рассуждений необходимо вспомнить основные явления, происходящие в мейозе. В первом делении мейоза происходит образование клеток, несущих гаплоидный набор хромосом (n). Такие клетки содержат только одну хромосому из каждой пары гомологичных хромосом, в дальнейшем из них образуются гаметы. Слияние гаплоидных гамет при оплодотворении ведет к образованию диплоидной (2n) зиготы. Процесс образования гаплоидных гамет и восстановление диплоидности при оплодотворении обязательно происходит в каждом поколении организмов, размножающихся половым способом.

Исходные родительские растения в рассматриваемом опыте были гомозиготными. Следовательно, скрещивание можно записать так: P(AA×aa). Очевидно, что оба родителя способны производить гаметы только одного сорта, причем растения, имеющие два доминантных гена AA, дают только гаметы, несущие ген A, а растения с двумя рецессивными генами aa образуют половые клетки с геном a. В первом поколении F_1 все потомство получается гетерозиготным Aa и имеет семена только желтого цвета, так как доминантный ген A подавляет действие рецессивного гена a. Такие гетерозиготные растения Aa способны производить гаметы двух сортов, несущие гены A и a.

При оплодотворении возникает четыре типа зигот — AA+Aa+aA+aa, что можно записать как AA+2Aa+aa. Поскольку в нашем опыте гетерозиготные семена Aa также окрашены в желтый цвет, в F_2 получается соотношение желтых семян к зеленым, равное 3:1. Понятно, что $^1/_3$ растений, которые выросли из желтых

семян, имеющих гены АА, при самоопылении снова дает только желтые семена. У остальных $^2/_3$ растений с генами Аа, так же, как у гибридных растений из F_1, будут формироваться два разных типа гамет, и в следующем поколении при самоопылении произойдет расщепление признака окраски семян на желтые и зеленые в соотношении 3:1.

Таким образом было установлено, что расщепление признаков в потомстве гибридных растений — результат наличия у них двух генов — А и а, ответственных за развитие одного признака, например окраски семян.

1. В чем особенность гибридологического метода?
2. Объясните термины: *гибриды, доминантные признаки, рецессивные признаки, гомозиготы, гетерозиготы, расщепление.*
3. В чем сущность первого закона Менделя?
4. Белый кролик (аа) скрещивается с черным кроликом (АА). Гибридные кролики скрещиваются между собой. Какое потомство у них получится?

○ Повторите § 19.

§ 24. МОНОГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ

Аллельные гены. Итак, мы установили, что гетерозиготные особи имеют в каждой клетке два гена — А и а, отвечающих за развитие одного и того же признака. *Гены, определяющие альтернативное развитие одного и того же признака и расположенные в идентичных участках гомологичных хромосом,* называют *аллельными генами* или *аллелями.* Любой диплоидный организм, будь то растение, животное или человек, содержит в каждой клетке два аллеля любого гена. Исключение составляют половые клетки — гаметы. В результате мейоза количество хромосом в них уменьшается в 2 раза, поэтому каждая гамета имеет лишь по одному аллельному гену. Аллели одного гена располагаются в одном месте гомологичных хромосом.

Схематически гетерозиготная особь обозначается так: $\frac{A}{a}$. Гомозиготные особи при подобном обозначении выглядят так: $\frac{A}{A}$ или $\frac{a}{a}$, но их можно записать и как АА и аа.

Фенотип и генотип. Рассматривая результаты самоопыления гибридов F_2, мы обнаружили, что растения, выросшие из желтых семян, будучи внешне сходными, или, как говорят в таких случаях имея одинаковый *фенотип,* обладают различной комбинацией генов, которую принято называть *генотипом.* Таким образом, явление доминирования приводит к тому, что при одинаковом фенотипе особи могут обладать различными генотипами. Понятия «генотип»

и «фенотип» — очень важные в биологии. *Совокупность всех генов организма составляет его генотип. Совокупность всех признаков организма,* начиная с внешних и кончая особенностями строения и функционирования клеток и органов, *составляет фенотип.* Фенотип формируется под влиянием генотипа и условий внешней среды.

Анализирующее скрещивание. По фенотипу особи далеко не всегда можно определить ее генотип. У самоопыляющихся растений генотип можно определить в следующем поколении. Для перекрестно размножающихся видов используют так называемое *анализирующее скрещивание.* При анализирующем скрещивании особь, генотип который следует определить, скрещивают с особями, гомозиготными по рецессивному гену, т. е. имеющими генотип аа. Рассмотрим анализирующее скрещивание на примере. Пусть особи с генотипами АА и Аа имеют одинаковый фенотип. Тогда при скрещивании с особью, рецессивной по определяемому признаку и имеющей генотип аа, получаются следующие результаты:

1.	*P*	*AA* × *aa*	2.	*P*	*Aa* × *aa*
	Гаметы	*A* *a*		Гаметы	*A*,*a* *a*
	F_1	*Aa*		F_1	1*Aa* : 1*aa*

Из этих примеров видно, что особи, гомозиготные по доминантному гену, расщепления в F_1 не дают, а гетерозиготные особи при скрещивании с гомозиготной особью дают расщепление уже в F_1.

Неполное доминирование. Далеко не всегда гетерозиготные организмы по фенотипу точно соответствуют родителю, гомозиготному по доминантному гену. Часто гетерозиготные потомки имеют промежуточный фенотип, в таких случаях говорят о *неполном доминировании* (рис. 34). Например, при скрещивании растения ночная красавица с белыми цветками (аа) с растением, у которого красные цветки (АА), все гибриды F_1 имеют розовые цветки (Аа). При скрещивании гибридов с розовой окраской цветков между собой в F_2 происходит расщепление в отношении 1 (красный): 2 (розовый): 1 (белый).

Принцип чистоты гамет. У гибридов, как мы знаем, объединяются разные аллели, привносимые в зиготу родительскими гаметами. Важно отметить, что разные аллели, оказавшиеся в одной зиготе и, следовательно, в развившемся из нее организме, не влияют друг на друга. Поэтому свойства аллелей остаются постоянными независимо от того, в какой зиготе они побывают до этого. Каждая гамета содержит всегда только один аллель какого-либо гена.

Цитологическая основа принципа чистоты гамет и закона расщепления состоит в том, что гомологичные хромосомы и расположенные в них аллельные гены распределяются в мейозе по разным гаметам, а затем при оплодотворении воссоединяются в зиготе. В процессах расхождения по гаметам и объединения в зиготу аллельные гены ведут себя как *независимые, цельные единицы.*

1. Будет ли правильным определение: фенотип есть совокупность внешних признаков организма?

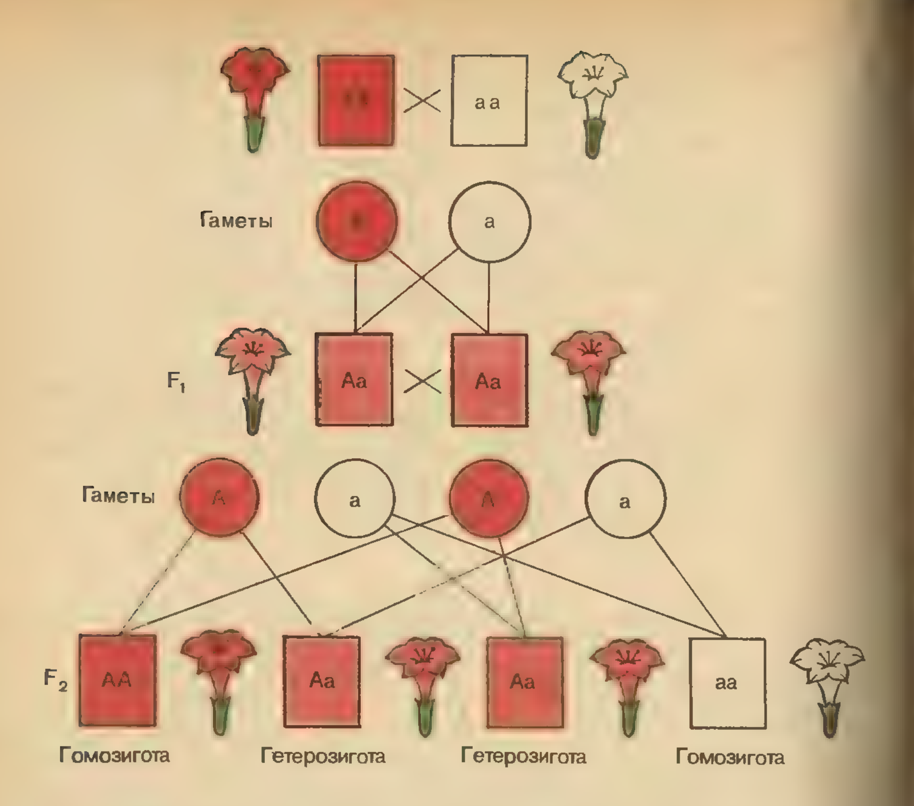


Рис. 34. Промежуточное наследование у ночной красавицы

2. С какой целью проводят анализирующее скрещивание?
3. Какое, на ваш взгляд, практическое значение имеют знания о генотипе и фенотипе?
4. Сопоставьте типы наследования генетических признаков при скрещиваниях с поведением хромосом во время мейоза и оплодотворения.
5. При скрещивании серых и черных мышей получено 30 потомков, из них 14 были черными. Известно, что серая окраска доминирует над черной. Каков генотип мышей родительского поколения?

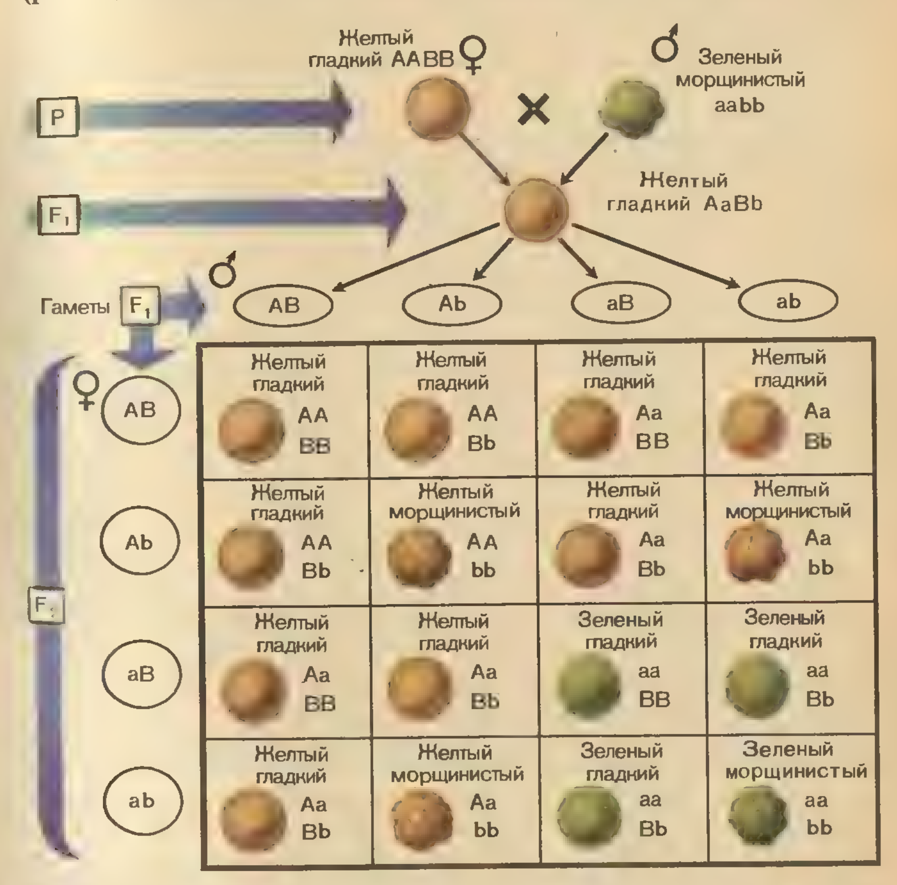
§ 25. ДИГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ. ВТОРОЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ

Установив закономерности наследования одного признака (моногибридное скрещивание), Мендель начал изучать наследование признаков, за которые отвечают две пары аллельных генов. *Скрещивание, в котором участвуют две пары аллелей,* называют *дигибридным скрещиванием.*

Поскольку каждый организм характеризуется очень большим числом признаков, а число хромосом ограничено, то каждая из них должна нести большое число генов. Результаты дигибридного скрещивания зависят от того, лежат ли гены, определяющие рассматриваемые признаки, в одной хромосоме или в разных. При дигибридном скрещивании Мендель изучал наследование признаков, за которые отвечают гены, лежащие, как выяснилось значительно позднее, в разных хромосомах.

Независимое наследование. Если в дигибридном скрещивании гены находятся в разных парах хромосом, то пары признаков наследуются независимо друг от друга.

Рассмотрим опыт Менделя, в котором он изучал независимое наследование признаков у гороха. Одно из скрещиваемых растений имело гладкие желтые семена, другое — морщинистые зеленые (рис. 35). В первом поколении все гибридные растения имели глад-



	AB	Ab	aB	ab
AB	Желтый гладкий AA BB	Желтый гладкий AA Bb	Желтый гладкий Aa BB	Желтый гладкий Aa Bb
Ab	Желтый гладкий AA Bb	Желтый морщинистый AA bb	Желтый гладкий Aa Bb	Желтый морщинистый Aa bb
aB	Желтый гладкий Aa BB	Желтый гладкий Aa Bb	Зеленый гладкий aa BB	Зеленый гладкий aa Bb
ab	Желтый гладкий Aa Bb	Желтый морщинистый Aa bb	Зеленый гладкий aa Bb	Зеленый морщинистый aa bb

Рис. 35. Механизм наследования окраски и формы семян у гороха при дигибридном скрещивании. Решетка Пеннета

кие желтые семена. Во втором поколении произошло расщепление: 315 семян было гладких желтых, 108 — гладких зеленых, 101 — морщинистых желтых, 32 — морщинистых зеленых. Таким образом, в F_2 обнаружено четыре фенотипа в соотношении, близком к 9 желтым гладким семенам (AB), 3 желтым морщинистым (Ab), 3 зеленым гладким (aB) и 1 зеленому морщинистому (ab). В кратком виде расщепление в F_2 можно записать так: 9AB: 3Ab: 3aB: 1ab.

Запишем скрещивание таким образом, чтобы было очевидно расположение генов в хромосомах:

P A B / A B × a b / a b

Гаметы A B   a b

F_1 A B / a b

При образовании гамет у особей F_1 возможны четыре комбинации двух пар аллелей. Механизм этого процесса показан на рисунке 36. Аллели одного гена, как вы уже знаете, всегда попадают в разные гаметы. Расхождение одной пары генов не влияет на расхождение генов другой пары.

Если в мейозе хромосома с геном A отошла к одному полюсу, то к этому же полюсу, т. е. в ту же гамету, может попасть хромосома как с геном B, так и с геном b. Следовательно, с одинаковой вероятностью ген A может оказаться в одной гамете и с геном B, и с геном b. Оба события равновероятны. Поэтому сколько будет гамет AB, столько же и гамет Ab. Такое же рассуждение справедливо и для гена a, т. е. число гамет aB всегда равно числу гамет ab. В результате независимого распределения хромосом в мейозе гибрид A B / a b образует четыре типа гамет: AB, Ab, aB и ab в равных количествах. Это явление было установлено Г. Менделем и названо *законом независимого расщепления* или *вторым законом Менделя*. Он формулируется так: *расщепление по каждой паре генов идет независимо от других пар генов.*



Рис. 36. Независимое расщепление каждой пары генов

Решетка Пеннета. Независимое расщепление можно изобразить в виде таблицы (см. рис. 35). По имени генетика, впервые предложившего эту таблицу, она названа решеткой Пеннета. Поскольку в дигибридном скрещивании при независимом наследовании образуются четыре типа

гамет, количество типов зигот, образующихся при случайном слиянии этих гамет, равно 4×4, т. е. 16. Ровно столько клеток в решетке Пеннета. Вследствие доминирования A над a и B над b разные генотипы имеют одинаковый фенотип. Поэтому количество фенотипов равно только четырем. Например, в 9 клетках решетки Пеннета из 16 возможных сочетаний расположены комбинации, имеющие одинаковый фенотип — желтые гладкие семена. Генотипы, определяющие данный фенотип, таковы: 1AABB: 2AABb: 2AaBB: 4AaBb.

Число различных генотипов, образующихся при дигибридном скрещивании, равно 9. Число фенотипов в F_2 при полном доминировании равно 4. Значит, дигибридное скрещивание есть два независимо идущих моногибридных скрещивания, результаты которых как бы накладываются друг на друга.

В отличие от первого закона, который справедлив всегда, второй закон относится только к случаям независимого наследования, когда изучаемые гены расположены в *разных парах гомологичных хромосом.*

Статистический характер законов Г. Менделя. Пусть в скрещивании Aa×Aa получено только четыре потомка. Можно ли точно предсказать генотип каждого из них? Неверно думать, что соотношение непременно будет равно 1AA: 2Aa: 1aa. Может случиться так, что все четыре потомка будут иметь генотип AA или Aa. Возможно и любое другое соотношение, например, три особи с генотипом Aa и одна — aa. Значит ли это, что закон расщепления в данном случае нарушается? Нет, закон расщепления не может быть поколеблен результатами скрещиваний, в которых обнаружено отклонение от ожидаемого соотношения, в нашем случае 1:2:1. Причина данного явления состоит в том, что законы генетики носят статистический характер. Это означает, например, что соотношение фенотипов потомков, ожидаемых в скрещивании гетерозигот 3:1, будет выполняться тем точнее, чем больше потомков. В опыте по скрещиванию сортов гороха с желтыми и зелеными семенами Г. Мендель в F_2 получил очень большое количество семян и поэтому расщепление оказалось 3,01:1, т. е. близко к теоретически ожидаемому.

Точное выполнение соотношений 3:1, 9:3:3:1 и других возможно лишь при большом количестве изучаемых гибридных особей.

Когда Мендель ставил свои опыты, науке еще ничего не было известно ни о хромосомах и генах, ни о митозе и мейозе. Несмотря на это, Мендель, точно учтя и обдумав результаты расщепления, записал их с помощью той буквенной символики, которой мы пользуемся до сих пор. В этом проявилась мощь мышления Г. Менделя.

1. В чем заключается смысл второго закона Менделя? Каковы связь между первым и вторым законами Менделя?
2. Каковы цитологические основы дигибридного скрещивания?
3. Какое расщепление по генотипу и фенотипу возникнет, если гибриды второго поколения дигибридного скрещивания (см. решетку Пеннета) будут размножаться самоопылением?



ТОМАС ГЕНТ МОРГАН (1866—1945) — американский эмбриолог, генетик. Впервые начал исследования на плодовой мушке дрозофиле. Морган и его школа создали в итоге этих опытов хромосомную теорию наследственности. Лауреат Нобелевской премии 1933 г., почетный академик АН СССР.

▶ 4. Какие возникнут расщепления по генотипу и фенотипу, если каждый из девяти генотипов второго поколения дигибридного скрещивания будет скрещен с *aabb*?

? 5. Вспомните, сколько генотипов возникнет в F_2 при моногибридном, дигибридном скрещиваниях. Сколько генотипов будет в F_2 в тригибридном скрещивании? Попробуйте вывести общую формулу числа генотипов в F_2 для полигибридного скрещивания.

§ 26. СЦЕПЛЕННОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ГЕНОВ

Группы сцепления. Число генов у каждого организма, как мы уже отмечали, гораздо больше числа хромосом. Следовательно, в одной хромосоме расположено много генов. Как наследуются гены, расположенные в одной паре гомологичных хромосом?

Большую работу по изучению наследования неаллельных генов, расположенных в паре гомологичных хромосом, выполнили американский ученый Т. Морган и его ученики. Ученые установили, что гены, расположенные в одной хромосоме, наследуются *совместно*, или *сцепленно*. Группы генов, расположенные в одной хромосоме, называют *группами сцепления*. Сцепленные гены расположены в хромосоме в линейном порядке. Число групп сцепления у генетически хорошо изученных объектов равно числу пар хромосом, т. е. гаплоидному числу хромосом. У человека 23 пары хромосом и 23 группы сцепления, у гороха 7 пар хромосом и 7 групп сцепления и т. д.

Сцепленное наследование и явление перекреста. Рассмотрим, какие типы гамет будет производить особь, два гена которой находятся в одной хромосоме: $\frac{A\ B}{a\ b}$ Особь с таким генотипом производит два типа гамет: $\underline{a\ b}$ и $\underline{A\ B}$ — в равных количествах, которые повторяют комбинацию генов в хромосоме родителя.

Было установлено, однако, что кроме таких обычных гамет возникают и другие, новые — $\underline{A\ b}$ и $\underline{a\ B}$, с новыми комбинациями генов, отличающимися от родительской гаметы. Было доказано, что причина возникновения новых гамет заключается в *перекресте гомологичных хромосом.*

Гомологичные хромосомы в процессе мейоза перекрещиваются и обмениваются участками. В результате этого возникают качественно новые хромосомы. Частота перекреста между двумя сцепленными генами в одних случаях может быть большой, в других — менее значительной. Это зависит от расстояния между генами в хро-



Рис. 37. Генетические карты двух хромосом томата (примеры некоторых генов).

II хромосома: *D* — растения нормальной высоты; *d* — карлик; *O* — круглый плод; о — овальный; *Ne* — нормальные листья; *ne* — листья, пораженные болезнью; *Bk* — круглый плод; *bk* — плод с заостренным концом. XI хромосома: *F* — гладкий плод; *f* — ребристый плод; *Lf* — соцветие необлиственное; *lf* — соцветие облиственное

мосоме. Частота (процент) перекреста между двумя неаллельными генами, расположенными в одной хромосоме, пропорциональна расстоянию между ними. Чем ближе расположены гены в хромосоме, тем теснее сцепление между ними и тем реже они разделяются при перекресте. И наоборот, чем дальше гены отстоят друг от друга, тем слабее сцепление между ними и тем чаще осуществляется перекрест. Следовательно, о расстоянии между генами в хромосоме можно судить по частоте перекреста.

Итак, сцепление генов, локализованных в одной хромосоме, не бывает абсолютным. Перекрест, происходящий между гомологичными хромосомами, постоянно осуществляет «перетасовку» — *рекомбинацию* генов. Т. Морган и его сотрудники показали, что, изучив явление сцепления и перекреста, можно построить *карты хромосом* с нанесенным на них порядком расположения генов. Карты, построенные на этом принципе, созданы для многих генетически хорошо изученных организмов: кукурузы, человека, мыши, дрожжей, гороха, пшеницы, томата (рис. 37), плодовой мушки дрозофилы.

Как геологу или моряку совершенно необходима карта, так и генетику и селекционеру крайне необходима генетическая карта того объекта, с которым он работает. В настоящее время создано несколько эффективных методов построения генетических карт. В результате возникла возможность сравнивать строение генома у различных видов, что имеет важное значение для генетики, селекции, а также эволюционных исследований.

1. Объясните, используя рисунок 37, что обозначено на генетических картах. На конкретных примерах докажите практическое значение генетических карт.
2. Определите, какие генотипы и фенотипы будут в F_1 и F_2, если гладкосеменное (*А*) растение гороха с усиками (*С*), гомозиготное по обоим признакам, скрещивается с морщинистым (*а*) растением гороха без усиков (*с*). Оба признака (форма семени и наличие или отсутствие усиков) локализованы в одной хромосоме.

§ 27. ГЕНЕТИКА ПОЛА

Хромосомное определение пола. У многих организмов соотношение между особями мужского и женского пола при изучении большого числа особей всегда примерно равно, т. е. расщепление по признаку пола происходит в отношении 1:1.

От чего же зависит рождение мужских и женских особей? У плодовой мушки дрозофилы, на которой проведено множество генетических исследований, и у млекопитающих пол определяется следующим образом. В соматических клетках дрозофилы четыре пары хромосом. В число их входят три пары *аутосом*, т. е. хромосом, одинаковых у самца и самки, и одна пара хромосом, различных у особей мужского и женского пола. Эти хромосомы, как было установлено,



Рис. 38. Хромосомные комплексы самца и самки у дрозофилы

отвечают за наследование пола и поэтому были названы *половыми хромосомами.*

В клетках самок мух дрозофил имеются две одинаковые половые хромосомы, которые условно обозначают как *X*-хромосомы. Следовательно, в диплоидных соматических клетках самки набор половых хромосом — *XX*. У самцов половые хромосомы отличаются от половых хромосом самок. В соматических клетках самца мухи дрозофилы имеется одна *X*-хромосома и одна *Y*-хромосома. Поэтому набор половых хромосом самца обозначается *XY*. Следовательно, яйцеклетки женских организмов все одинаковы по хромосомному набору, так как в каждой из них имеется по одному набору аутосом и одна *X*-хромосома. Все сперматозоиды также имеют по одному набору аутосом и одну половую хромосому, но половина сперматозоидов имеет *X*-хромосому, а другая половина — *Y*-хромосому. *X*-хромосома и *Y*-хромосома резко различаются по строению (рис. 38). Различаются они и по набору генов, который в них содержится.

Поскольку гаметы с *X*- и *Y*-хромосомой в результате мейоза образуются у самцов в равных количествах, то ожидаемое отношение полов составляет 1:1, что и совпадает с фактическим наблюдаемым. Сходный способ определения полов присущ всем млекопитающим, в том числе и человеку. Он обнаружен также у некоторых видов пресмыкающихся, рыб и насекомых.

Наследование, сцепленное с полом. В том случае, когда гены, ответственные за формирование признака, расположены в аутосомах, наследование осуществляется независимо от того, какой из родителей (мать или отец) является носителем изучаемого признака.

Однако ситуация резко изменяется, когда признаки определяются генами, лежащими в половых хромосомах. Рассмотрим пример наследования черепаховой окраски у кошек. Черепаховая окраска, т. е. чередование черных и желтых пятен, встречается только у кошек (рис. 39). Котов с черепаховой окраской не бывает. Этот факт не могли объяснить, пока не стало известно, что наследование данного признака сцеплено с полом.



Рис. 39. Черепаховая окраска кошки

Черная окраска кошек определяется геном *B*, рыжая — геном *b*. Эти гены расположены в *X*-хромосоме. В *Y*-хромосоме они отсутствуют. Обозначим *X*-хромосому, несущую аллель *B*, — X^B и *X*-хромосому с аллелем *b* — X^b. Поэтому возможны такие комбинации:

X^BX^B — черная кошка
X^bX^b — рыжая кошка
X^BX^b — черепаховая кошка
X^BY — черный кот
X^bY — рыжий кот

Так как мужская особь имеет только одну *X*-хромосому, то кот может быть или черным, или рыжим, но не может иметь черепаховую окраску, потому что для ее развития необходимо одновременное присутствие генов *B* и *b*.

У человека также известны признаки, сцепленные с полом. К ним относится, например, очень тяжелое наследственное заболевание гемофилия, при котором кровь теряет способность свертываться. У гемофиликов даже небольшие царапины и ссадины вызывают тяжелые кровотечения. Это заболевание встречается, за редчайшими исключениями, только у мужчин. Было установлено, что гемофилия обусловлена рецессивным геном, расположенным в *X*-хромосоме, поэтому гетерозиготные по данному гену женщины обладают обычной свертываемостью крови. Рассмотрим, какое потомство может появиться у женщины, вступающей в брак с нормальным по этому признаку мужчиной.

Ген, обусловливающий нормальную свертываемость крови, обозначим *H*, а ген, при котором кровь теряет способность свертываться, — *h*. Учитывая, что в генотипе женщины присутствуют две *X*-хромосомы, а у мужчины — одна *X*-хромосома и одна *Y*-хромосома, запишем схему наследования гемофилии:

P	X^HX^h носительница гена гемофилии	×	X^HY здоровый мужчина	
Гаметы	X^H; X^h		X^HY	
F_1	X^HX^H здоровая женщина	X^HX^h носительница гена гемофилии	X^HY здоровый мужчина	X^hY гемофилик мужчина

Женщина передает половине своих сыновей *X*-хромосому с геном нормальной свертываемости крови, а половине — *X*-хромосому с геном гемофилии. Среди ее сыновей могут быть и здоровые и гемофилики.

В силу равновероятного расхождения хромосом при формировании гамет и их встречи в зиготе следует ожидать, что в потомстве большого числа браков, подобных только что рассмотренному, у половины сыновей разовьется гемофилия. В то же время все дочери в любом случае получают *X*-хромосому от своего отца с геном X^H, поэтому у них всегда нормальная свертываемость крови, но половина дочерей будет гетерозиготными носительницами этого заболевания.

Ген, вызывающий дальтонизм (неспособность различать красный и зеленый цвет), также сцеплен с *X*-хромосомой.

? 1. В чем отличие хромосомного набора самца от хромосомного набора самки?
▶ 2. Почему у женщин, имеющих в генотипе ген гемофилии, болезнь не проявляется, а у мужчин — проявляется?
▶ 3. В каком случае у мужчины дальтоника может быть внук дальтоник?

§ 28. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ. ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ

В примерах, которые мы до сих пор рассматривали, каждый ген определял только один признак и развитие каждого признака зависело только от одного гена. Однако, как правило, отношения между генами и признаками гораздо сложнее.

Множественное действие гена. Один и тот же ген может влиять на формирование ряда признаков организма. Например, ген, вызывающий образование бурой семенной кожуры у гороха, способствует развитию пигмента и в других частях растений. Растения с семенами, покрытыми бурой семенной кожурой, имеют цветки фиолетовой окраски, а растения с белой кожурой семян — белые цветки. Влияние одного гена на развитие многих признаков называют *множественным действием гена*. Такое множественное действие характерно для большинства генов.

Обычно судят о действии гена только по тем признакам, которые легко обнаруживаются. Например, у мухи дрозофилы глаза имеют красную окраску, развитие которой обусловлено присутствием гена *W*. При наличии аллеля *w* пигмент, влияющий на

окраску глаз, отсутствует и они становятся белыми. Оказалось, что аллель *w* влияет также на осветление окраски тела и изменение формы некоторых внутренних органов мухи. В некоторых случаях проявление множественного действия гена легко наблюдать. Например, у человека есть ген, определяющий рыжую окраску волос. Этот же ген обусловливает более светлую окраску кожи, а также появление веснушек.

Отношение ген — признак. При скрещивании в результате взаимодействия двух различных генов в потомстве могут возникать новые признаки, отсутствовавшие у родительских организмов. Это явление называют *новообразованием* при скрещиваниях. Оно наблюдается очень часто в природе при разведении домашних животных и культурных растений.

Приведем пример. У душистого горошка — садового растения — есть много сортов, которые отличаются по окраске цветков, в частности сорта с белыми цветками. При некоторых комбинациях скрещивания двух белых сортов между собой, полученные семена дают растения с фиолетовыми цветками. Биохимический анализ показал, что фиолетовая окраска цветков душистого горошка — результат реакции между двумя веществами, каждое из этих веществ образуется под действием определенного гена. Имеется два гена, каждый с двумя аллелями — С, с и Р, р. Окраска цветков образуется тогда, когда в генотипе растения присутствуют одновременно два доминантных гена *С* и *Р*. Скрещивание двух сортов душистого горошка с белыми цветками, когда гибриды первого поколения имеют фиолетовые цветки, записывается следующим образом:

P	*CCpp* (белые цветки)	×	*ccPP* (белые цветки)
Гаметы	*C; p*		*c; P*
F_1	*Cc Pp* (фиолетовые цветки)		

Таким образом, мы видим, что в генотипе любого организма гены взаимодействуют между собой; на фенотипическое проявление признака влияет целый комплекс генов. Сочетания генов в организме обусловливают многообразие индивидуальных отличий особей одного вида.

Цитоплазматическая наследственность. Приведенное выше доказательство ведущей роли ядра и хромосом в генетических процессах не следует рассматривать как свидетельство отсутствия какой-либо роли цитоплазмы в передаче свойств из поколения в поколение. Участие цитоплазмы в формировании некоторых признаков связано с работой внеядерных генов, расположенных в органеллах. Митохондрии и хлоропласты содержат ДНК, ее гены кодируют ряд признаков. О наличии внеядерных генов свидетельствуют данные о наследовании некоторых признаков у растений. К

их числу относится пестролистность у ночной красавицы и львиного зева. Наследование этого признака не укладывается в рамки законов Менделя. Объясняется такое наследование тем, что пластиды бывают двух типов — окрашенные и неокрашенные. Эти органеллы воспроизводятся в клетке независимо от ее деления и случайно распределяются между дочерними клетками. Из клеток, содержащих смесь зеленых и неокрашенных пластид, при делении могут появляться клетки трех возможных типов: содержащие только неокрашенные, окрашенные пластиды и смесь пластид. В результате возникают три варианта окраски растений: окрашенные, неокрашенные и мозаичные. Поскольку единственный способ проникновения пластид в зиготу связан с яйцеклеткой, а не со спермием (так как он не содержит пластид), наблюдается *материнское наследование*.

Известно множество фактов, доказывающих существование цитоплазматической наследственности не только у растений, но и у животных и микроорганизмов.

▶ 1. Какое потомство будет получено в F_2, если растение с фиолетовыми цветками (СсРр) будет размножаться самоопылением?
2. Что такое новообразование? Приведите примеры.
3. Чем отличается цитоплазматическая наследственность от закономерностей ядерной (менделевской) наследственности?

§ 29. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕНОТИПА И СРЕДЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРИЗНАКА

Качественные и количественные признаки. Все признаки организма можно разделить на две группы — *качественные* и *количественные*. Окраска цветов, форма плодов, масть животных, цвет глаз, половые различия — все это качественные признаки. При изучении качественных признаков не возникает затруднений в их классификации. Фенотипические классы потомков, появившиеся при расщеплении, легко различимы: черная или бурая корова, красная или черная лиса, белые или фиолетовые цветки у душистого горошка и т. д.

Однако изменчивость (разнообразие) носит не только качественный, но и количественный характер. Яйценосность кур, молочность коров, масса семян пшеницы — это примеры так называемых количественных признаков. Большинство признаков, важных при разведении животных и выращивании растений, носит количественный характер. Количественные признаки можно изучать измерением и подсчетом.

Живые организмы постоянно испытывают действие разнообразных факторов среды, в которой они обитают. Среда влияет на формирование и количественных, и качественных признаков.

Влияние условий среды на качественные признаки. Многие качественные признаки в меньшей степени, чем количественные призна-

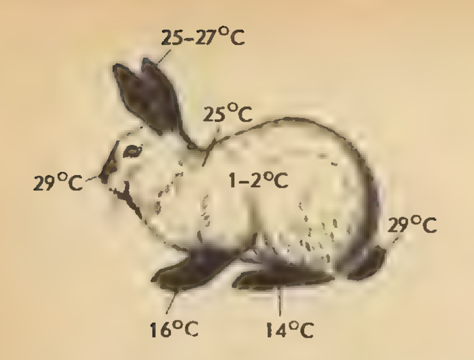


Рис. 40. Распределение температурных порогов пигментообразования в волосах горностаевого кролика

ки, подвержены влиянию условий среды. Например, в семье, где отец и мать имеют голубой цвет глаз, рождаются только голубоглазые дети. При этом не имеет значения, в каких условиях живет данная семья. Однако можно привести немало примеров, демонстрирующих влияние среды. У примулы окраска цветов определяется аллельной парой *Rr*. Гомозиготные растения *RR* обычно имеют красные цветки, но если в момент формирования бутонов растение перенести из обычных комнатных условий в теплую влажную оранжерею с температурой 30—35° С, то появятся белые цветки. Возвращение в комнатные условия не изменяет их белой окраски, но вновь распустившиеся цветки будут красными. Понятно, что в этом случае изменился признак, а не ген.

Другим примером, показывающим влияние условий внешней среды на развитие качественных признаков, может служить изменение окраски шерсти у горностаевого кролика. Горностаевые кролики (c^hc^h) и кролики-альбиносы (*cc*) при рождении не окрашены. Альбиносы остаются совершенно белыми в течение всей жизни, а у горностаевых кроликов лапки, хвост, уши и мордочка постепенно окрашиваются в черный цвет.

Если у горностаевого кролика (рис. 40) сбрить шерсть на каком-либо участке тела, то окраска вновь выросшей шерсти будет зависеть от температуры среды. Так, если сбрить белую шерсть на боку или на спине и содержать животное при температуре выше + 2°С, то на этом месте снова вырастет белая шерсть. При температуре воздуха ниже +2°С вместо белой шерсти вырастет черная. Но если сбрить шерсть на ухе, то в обычных условиях там снова вырастет черная шерсть; под согревающим компрессом (при температуре 30°С на выбритом участке вырастет белая шерсть.

Эти опыты объясняют, почему горностаевые кролики рождаются совершенно белыми: в эмбриональный период они находятся в условиях высокой температуры.

Влияние условий среды на количественные признаки. Развитие количественных признаков очень сильно зависит от влияния условий среды. Масса тела у крупного рогатого скота, как и у других животных, — типичный количественный признак. Установлено, что генотип оказывает важное влияние на формирование признака.




Рис. 41. Два бычка годовалого возраста, происшедшие от одного отца, но выращенные в резко различных условиях

Именно благодаря различиям в генотипе породы крупного рогатого скота резко отличаются по среднему значению, например, массы одного животного. Однако условия среды, например количество и качество корма, играют не менее важную роль в формировании этого признака (рис. 41).

Известно, что количество и качество молока в сильной степени зависят от правильности кормления коровы. Но значит ли это, что удой зависит только от кормления? Нет, такой вывод неверен. Известно, что некоторые породы скота дают в естественных условиях в год 800—1200 кг молока. Улучшение кормления и содержания этих животных может резко повысить их продуктивность до 2500 кг молока. Ухудшение условий может привести к тому, что ценная порода скота, дающая 4500—5000 кг в год, снизит продуктивность до 2500 кг и даже ниже. Однако поднять продуктивность скота до 4000—5000 кг, улучшая только условия содержания, невозможно.

Норма реакции. Итак, признаки развиваются в результате взаимодействия генотипа и среды. Один и тот же генотип может в разных условиях среды давать разное значение признака. Пределы, в которых возможно изменение признаков у данного генотипа, называют *нормой реакции.*



Рис. 42. Изменение формы одуванчика под влиянием условий среды:

1 — выросший на равнине; *2* — выросший в горах

Иначе говоря, организм наследует не признак как таковой, а способность формировать определенный фенотип в конкретных условиях среды, т. е. норму реакции (рис. 42).

На примере с молочным скотом можно отметить, что норма реакции молочности местных пород скота колеблется от 1000 до 2500 кг, а у ценных пород она значительно выше — от 4000 до 6000 кг молока в год и даже более. В таких случаях говорят, что признак молочности у коров обладает широкой нормой реакции.

Таким образом, фенотип каждой особи есть результат взаимодействия ее генотипа с условиями окружающей среды.

1. Почему разнообразие качественных признаков в малой степени зависит от влияния условий среды?
2. Чем определяется широта нормы реакции?
3. Можно ли, улучшив условия кормления, превратить овец грубошерстных в тонкорунные?
4. Какое практическое значение в сельском хозяйстве имеет знание нормы реакции животных и растений?

○ Повторите § 25.

Глава VIII. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Изменчивость, характерная для всех живых организмов, бывает двух типов. Прежде всего это *наследственная изменчивость,* которая связана с изменением самих генов или возникновением их новых комбинаций. Второй тип — *модификационная изменчивость.* В отличие от наследственной изменчивости она не связана с изменениями генотипа и в последующие поколения не передается.

§ 30. МОДИФИКАЦИОННАЯ И НАСЛЕДСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Модификационная изменчивость. *Разнообразие фенотипов, возникающих у организмов под влиянием условий среды,* называют *модификационной изменчивостью.* Спектр модификационной изменчивости определяется нормой реакции. Примером модификационной изменчивости может служить изменчивость генетически сходных (идентичных) особей. Многие виды растений, например картофель, обычно размножаются вегетативно, в этом случае все потомки обладают одинаковым генотипом. Значит ли это, что все растения, выросшие на поле и происходящие от одного клубня, будут одинаковы? Нет, многие растения существенно отличаются по высоте, кустистости, количеству и форме клубней и другим показателям. Причина этой очень широкой модификационной изменчивости состоит в разнообразном влиянии среды, которое испытывает



АВГУСТ ВЕЙСМАН (1834—1914) — немецкий зоолог и теоретик эволюционного учения. Основные работы посвящены вопросам наследственности и индивидуального развития. Выступал против ламаркизма, отрицал наследование приобретенных признаков. Автор умозрительной теории наследственности и индивидуального развития (теория непрерывности «зародышевой плазмы»), предвосхитившей современное представление о хромосомах как носителях наследственности.

каждый саженец картофеля. Модификационные изменения (*модификации*) не связаны с изменением генов. Однако модификации могут сильно влиять на их работу, а также на активность ферментов. Хорошо известно, что при низких температурах ферменты гораздо менее активны, что не может не влиять на рост растений и микроорганизмов, развитие животных. Следовательно, действие факторов внешней среды очень существенно для протекания многих физиологических и формообразовательных процессов. Однако эти воздействия, как правило, не влияют на свойства генов, которые передаются в следующие поколения без принципиальных изменений. Именно поэтому модификации не наследуются. Это важное обобщение сделал крупный немецкий биолог А. Вейсман.

Модификационная изменчивость встречается у всех организмов, независимо от способа размножения, видовой принадлежности и разнообразия условий окружающей среды.

Типы наследственной изменчивости. Наследственная изменчивость — основа разнообразия живых организмов и главное условие их способности к эволюционному развитию. Механизмы наследственной изменчивости разнообразны. Основной вклад в наследственную изменчивость вносит *генотипическая изменчивость;* существует также и *цитоплазматическая изменчивость.* Генотипическая изменчивость в свою очередь слагается из *мутационной* (§ 31) и *комбинативной изменчивости.* Комбинативная изменчивость — важнейший источник того бесконечно большого наследственного разнообразия, которое наблюдается у живых организмов.

В основе комбинативной изменчивости лежит половое размножение живых организмов, вследствие которого возникает огромное разнообразие генотипов. Генотип потомков, как известно, представляет собой сочетание генов, которые были свойственны родителям. Число генов у каждого организма исчисляется тысячами. При половом размножении комбинации генов приводят к формированию нового уникального генотипа и фенотипа. У любого ребенка

можно обнаружить признаки, типичные для его матери и отца. Тем не менее даже среди близких родственников не найти двух абсолютно одинаковых людей. Исключение составляют однояйцевые близнецы. В чем причины этого огромного разнообразия? Они лежат в явлении комбинативной изменчивости. Рассмотрим основные ее истоки.

Независимое расхождение гомологичных хромосом в первом мейотическом делении — первая и важнейшая основа комбинативной изменчивости. Именно независимое расхождение хромосом, как вы помните (см. § 25), является основой второго закона Менделя. Появление зеленых гладких и желтых морщинистых семян во втором поколении от скрещивания растений с желтыми гладкими и зелеными морщинистыми семенами — пример комбинативной изменчивости (см. рис. 35).

Рекомбинация генов, основанная на явлении перекреста хромосом, — второй, тоже очень важный источник комбинативной изменчивости. Рекомбинантные хромосомы, попав в зиготу, вызывают появление признаков, не типичных для родителей.

Третий важный источник комбинативной изменчивости — *случайная встреча гамет* при оплодотворении. В моногибридном скрещивании возможны три генотипа, например *АА*, *Аа* и *аа*. Каким именно генотипом будет обладать данная зигота зависит от случайной комбинации гамет.

Все три основных источника комбинативной изменчивости действуют независимо и одновременно, создавая огромное разнообразие генотипов. Однако новые комбинации генов не только легко возникают, но также и легко разрушаются при передаче из поколения в поколение. Именно поэтому часто в потомстве выдающихся по качествам живых организмов появляются особи, уступающие родителям.

Для закрепления желательных признаков селекционеры используют близкородственные скрещивания. Благодаря таким скрещиваниям возрастает вероятность встречи одинаковых гамет, и могут возникнуть потомки с комбинацией генов, близкой к родительской комбинации. Таким путем созданы некоторые породы животных и сорта растений.

1. Какие биологические явления лежат в основе комбинативной изменчивости?
2. Объясните, почему при вегетативном размножении растений фенотипическое проявление признаков у особей с одинаковым генотипом бывает различно?
3. Докажите, что познание человеком закономерностей наследственности и изменчивости имеет большое практическое значение.

§ 31. МУТАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Мутации — это случайно возникшие стойкие изменения генотипа, затрагивающие целые хромосомы, их части или отдельные гены. Они могут быть и полезны, и вредны, и нейтральны для организмов.

Геномные мутации. *Геномными* называют мутации, приводящие к изменению числа хромосом. Наиболее распространенным типом геномных мутаций является *полиплоидия* — кратное изменение числа хромосом. У полиплоидных организмов гаплоидный *(n)* набор хромосом в клетках повторяется не 2 раза, как у диплоидов, а 4—6 раз, иногда значительно больше — до 10—12 раз.

Возникновение полиплоидов связано с нарушением митоза или мейоза. В частности, нерасхождение гомологичных хромосом в мейозе приводит к формированию гамет с увеличенным числом хромосом. У диплоидных организмов в результате такого процесса могут образоваться диплоидные *(2n)* гаметы.

Полиплоидные виды растений довольно часто обнаруживаются в природе; у животных полиплоидия редка. Некоторые полиплоидные растения характеризуются более мощным ростом, крупными размерами и другими свойствами, что делает их ценными для генетико-селекционных работ.

Хромосомные мутации. *Хромосомные мутации* — это перестройки хромосомы. Многие из хромосомных мутаций доступны изучению под микроскопом. Пути изменения структуры хромосом разнообразны. Участок хромосомы может удвоиться или, наоборот, выпасть, он может переместиться на другое место и т. д. Рассмотрим основные типы хромосомных мутаций:

Условные обозначения генов	*Изменения структуры хромосомы*
А Б В Г Д Е	Нормальный порядок гена
А Б В В Г Д Е	Удвоение участка
А Б В Д Е	Нехватка участка
А Б Г В Д Е	Поворот участка на 180°
А Б В I М К	Перемещение участка на негомологичную хромосому

Хромосомные мутации приводят к изменению функционирования генов. Они играют серьезную роль в эволюционных преобразованиях видов. Подробнее вы об этом узнаете в § 43.

Генные мутации. *Генные,* или *точковые, мутации* — наиболее часто встречающийся класс мутационных изменений. Генные мутации связаны с изменением последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК. Они приводят к тому, что мутантный ген либо перестает работать и тогда не образуются соответствующие РНК и белок, либо синтезируется белок с измененными свойствами, что проявляется в изменении каких-либо признаков организма. Вследствие генной мутации образуются новые аллели. Это имеет важное эволюционное значение.

Мутации — редкие события. На 10 000 — 1 000 000 генов определенного типа в среднем возникает одна новая мутация. Хотя мутационные события происходят редко, но благодаря постоянству естественного мутационного процесса и способности видов накапливать мутации в генотипах всех без исключения особей содержится значительное количество генных мутаций.

Генные мутации следует рассматривать как результат «ошибок», возникающих в процессе удвоения молекул ДНК.

Изучение мутационного процесса показало, что изменяться — мутировать — могут все гены, контролирующие развитие любого признака организма. Многие генные мутации вредны для организма, часть нейтральны, а некоторые из них в определенных условиях жизни могут становиться полезными.

Экспериментальное получение мутаций. Советские генетики первыми обнаружили, что ультрафиолетовые лучи и некоторые вещества — мощные факторы, способные вызвать мутации у самых различных организмов.

Резкое повышение числа вновь возникающих мутаций вызывает действие лучей Рентгена. Американский генетик Г. Мёллер, работавший несколько лет в СССР, разработал методы учета возникающих мутаций и впервые экспериментально доказал эффективность лучей Рентгена для повышения частоты мутационного процесса в сотни раз.

Большую генетическую опасность для всех живых организмов несет радиоактивное излучение, что стало причиной заключения договора о прекращении испытаний ядерного оружия в воздухе, на земле и воде.

В настоящее время интенсивно ведутся работы по созданию методов направленного воздействия химических и физических факторов на определенные гены. Эти исследования очень важны, так как искусственное получение мутаций нужных генов имеет большое практическое значение для селекции растений, животных и микроорганизмов.

Закон гомологических рядов наследственной изменчивости. Выдающийся советский биолог Н. И. Вавилов многие годы изучал наследственную изменчивость у культурных растений семейства злаковых и их диких предков. Генетически близкородственные виды и роды он расположил в определенном порядке в соответствии с вариантами изменчивости. Это позволило ему обнаружить закономерность: близкородственные виды и роды благодаря большому сходству их генотипов обладают сходной наследственной изменчивостью. Обнаруженное Н. И. Вавиловым явление известно в биологии как *закон гомологических рядов в наследственной изменчивости.* Этот закон он сформулировал следующим образом: «Виды и роды, генетически близкие, характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд форм в пределах одного вида, можно предвидеть нахождение параллельных форм у других видов и родов».

У организмов, связанных менее близкими родственными связя-

НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ ВАВИЛОВ (1887—1943) — советский ботаник, генетик, растениевод, географ. Сформулировал закон гомологических рядов наследственной изменчивости. Создал учение о центрах происхождения культурных растений. Провел серию экспедиций по 40 странам пяти континентов, собрав уникальную коллекцию образцов сортов культурных растений, служащую и по сей день основой для селекционных работ. Он опубликовал 350 научных работ. Эти работы относятся к различным отраслям биологической и сельскохозяйственной наук: генетике, селекции, географии, систематике растений, эволюции.



ми, т. е. имеющих значительные различия в строении генотипов, параллелизм наследственной изменчивости становится менее полным.

Закон гомологических рядов отражает общебиологическое явление, характерное для всех представителей живого мира. Руководствуясь этим законом, можно предсказывать, какие мутантные формы должны возникнуть у близкородственных видов.

1. С какими структурными единицами связаны генные, хромосомные и геномные мутации? Какие изменения происходят в генотипе?
2. В чем заключается практическое значение исследования причин мутаций?
3. ▶ В потомстве нормальных серебристо-черных лисиц родился щенок с необычной платиновой окраской меха. Из 30 потомков, полученных от него при скрещивании с нормальными серебристо-черными самками, 14 имели платиновую окраску. Что можно сказать о возникновении и наследоеании платиновой окраски?
4. Объясните, почему от взрыва атомной бомбы в Хиросиме до сих пор страдают люди.
5. Закон гомологических рядов имеет большое практическое значение. Докажите это.

§ 32. НАСЛЕДСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

На людях невозможны прямые эксперименты, однако сейчас науке известно очень многое о наследственности человека.

Важно, что все общие закономерности наследственности, о которых говорилось в предыдущих главах и которые подробно изучены на лабораторных животных и сельскохозяйственных растениях, относятся и к человеку.

Ясен также и вопрос, над которым мы редко задумываемся: чем объясняется столь большое разнообразие людей и почему на всей

нашей планете нельзя найти двух совершенно одинаковых людей. В человеческом обществе, так же как и среди растительных и животных организмов, идет непрекращающийся мутационный процесс, который создает генетическое разнообразие среди людей. Поэтому каждый человек гетерозиготен по очень многим генам. В настоящее время известно более двух тысяч мутаций у человека.

Генетика и медицина. Интерес, проявляемый учеными всего мира к наследственности человека, не случаен. В последние десятилетия человечество тесно соприкасается с чуждыми для него химическими веществами. Число таких веществ, применяемых в быту, сельском хозяйстве, пищевой, фармакологической, косметической промышленности и в других областях деятельности людей, в настоящее время огромно. Среди этих веществ есть и такие, которые вызывают мутации.

Благодаря развитию медицины человек научился бороться с очень многими заболеваниями, уносившими еще не так давно миллионы жизней. Человек успешно защищает себя от большинства очень опасных инфекционных заболеваний. Такие болезни, как оспа, чума, холера, малярия, отмечаются в большинстве стран очень редко. Человеку уже не так страшны туберкулез, скарлатина, коклюш, корь и многие другие заболевания. Биология и медицина интенсивно работают над решением проблемы вирусных заболеваний и рака.

Для обеспечения своего здоровья, здоровья своих детей и всех будущих поколений человеку необходимо научиться бороться с возникновением в его клетках генных и хромосомных мутаций. А для этого ему надо знать свою собственную генетику так же хорошо, как и генетику растений, животных, микроорганизмов.

Все, что известно сейчас о наследственности человека, выявлено наукой в результате применения специальных методов исследования.

Методы изучения наследственности человека. Генеалогический метод. Сущность его состоит в изучении родословных в тех семьях, в которых есть наследственные заболевания. Этот метод помог установить закономерности наследования очень большого числа самых различных признаков у человека, как нормальных, подобных цвету глаз, цвету и форме волос и т. п., так и сопутствующих наследственным болезням.

Благодаря хорошо известной родословной удалось проследить наследование гена гемофилии от английской королевы Виктории. Виктория и ее муж были здоровы. Известно также, что никто из ее предков не страдал гемофилией. Наиболее вероятно, что возникла мутация в гамете одного из родителей Виктории. Вследствие этого королева Виктория стала носительницей гена гемофилии и передала его многим своим потомкам. Все потомки мужского пола, которые получили от Виктории X-хромосому с мутантным геном, страдали тяжелым недугом — гемофилией (рис. 43).

Близнецовый метод. У человека в среднем в одном проценте случаев рождаются близнецы. Они могут быть однояйцевыми и разнояйцевыми. *Разнояйцевые,* или *неидентичные,* близнецы рождаются в результате оплодотворения двух яйцеклеток двумя сперматозоидами. Они поэтому похожи друг на друга не более чем братья и сестры, рожденные неодновременно, и могут быть разнополыми.

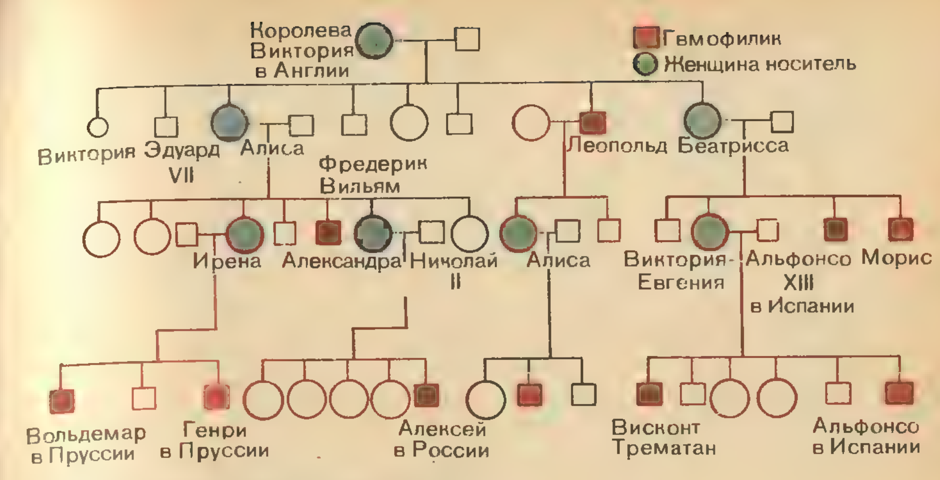


Рис. 43. Наследование гемофилии

Но иногда одна оплодотворенная яйцеклетка дает начало не одному, а двум (или нескольким) эмбрионам. Такие эмбрионы-близнецы развиваются всегда из единственной яйцеклетки и одного сперматозоида, они всегда либо мальчики, либо девочки. И сходство у таких близнецов почти абсолютное, так как они имеют один и тот же генотип. Таких близнецов называют *однояйцевыми* или *идентичными,* поскольку они развились из одной яйцеклетки (рис. 44).

Идентичные близнецы представляют собой большой интерес для изучения наследственности человека, так как различия между ними объясняются не различными генотипами, а влиянием условий развития, т. е. среды.

Цитогенетический метод. Этот метод основывается на микроскопическом исследовании структуры хромосом у здоровых и больных людей. На рисунке 45 изображены хромосомы человека (мужчины): их 46, или 23 пары, включая одну пару половых хромосом (X- и Y-хромосомы).

Исследования хромосом человека показали, что многие врожденные уродства и ненормальности связаны с измене-



Рис. 44. Сходство в расположении родинок у идентичных близнецов

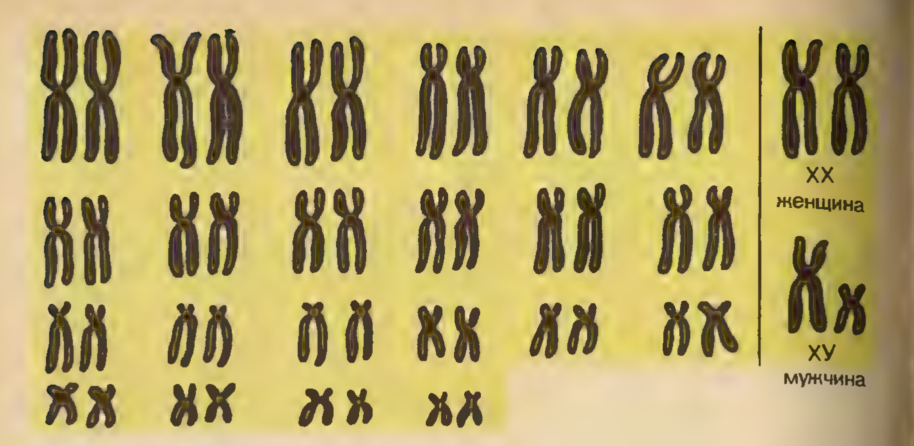


Рис. 45. Набор хромосом человека:
слева — 22 пары аутосом; *справа* — половые хромосомы

нием числа хромосом или изменением морфологии отдельных хромосом. На рисунке 46 показано уродство младенца, вызванное присутствием во всех его клетках не 46, а 47 хромосом, из-за наличия не двух, а трех хромосом номер 15. У человека известно очень много различных аномалий, связанных с изменением числа или формы хромосом. Эти заболевания называются *хромосомными болезнями.*

В последнее время совместными усилиями медиков и генетиков разработаны методы, позволяющие диагносцировать наличие у плода хромосомных и многих биохимических аномалий даже в период беременности.

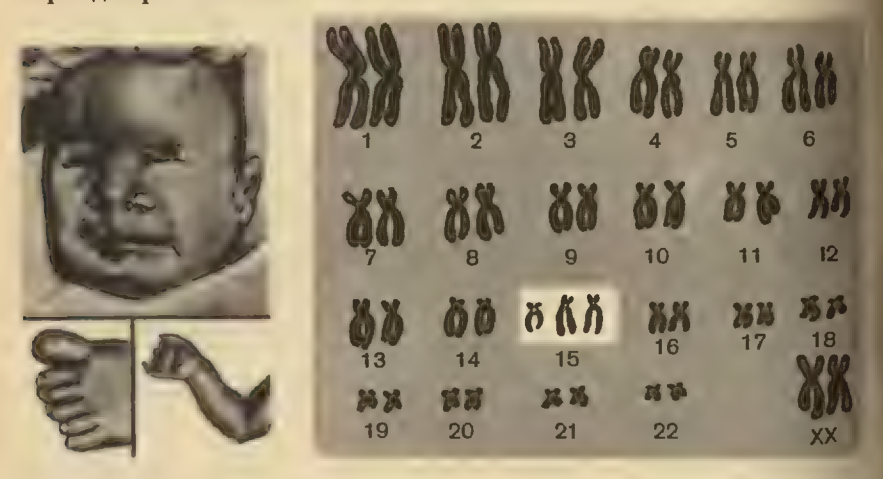


Рис. 46. Уродства, возникающие в результате изменения числа хромосом

Биохимические методы. В последние годы показано, что очень многие наследственные патологические состояния у человека связаны с нарушением обмена веществ. Так, известны аномалии углеводного, аминокислотного, липидного и других типов обмена.

1. Применимы ли законы наследственности к человеку?
2. Какие методы изучения наследственности человека вам известны? Каково их значение в медицинской генетикв?
3. Почему все люди не похожи друг на друга?
4. Докажите, что генетика и медицина тесно связаны между собой.

§ 33. ЛЕЧЕНИЕ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ НЕКОТОРЫХ НАСЛЕДСТВЕННЫХ БОЛЕЗНЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Лечение наследственных аномалий обмена веществ. Повышенный интерес медицинской генетики к наследственным заболеваниям объясняется тем, что во многих случаях знание биохимических механизмов развития заболевания позволяет облегчить страдания больного. Больному вводят не синтезирующиеся в организме ферменты или исключают из пищевых рационов продукты, которые не могут быть использованы вследствие отсутствия в организме необходимых для этого ферментов. Заболевание сахарным диабетом характеризуется повышением концентрации сахара в крови вследствие отсутствия инсулина — гормона поджелудочной железы. Это заболевание вызывается рецессивной мутацией. Оно лечится введением в организм инсулина.

Однако следует помнить, что вылечивается только болезнь, т. е. фенотипическое проявление «вредного» гена, и вылеченный человек продолжает оставаться его носителем и может передавать этот ген своим потомкам. Сейчас известны более ста заболеваний, в которых механизмы биохимических нарушений изучены достаточно подробно. В некоторых случаях современные методы микроанализов позволяют обнаружить такие биохимические нарушения даже в отдельных клетках, а это, в свою очередь, позволяет ставить диагноз о наличии подобных заболеваний у еще не родившегося ребенка по отдельным его клеткам, плавающим в околоплодной жидкости беременной матери.

Резус-фактор. К числу хорошо изученных признаков человека относится система групп крови. Для примера рассмотрим систему крови «резус». Ген, ответственный за наличие в крови резус-фактора, может быть в двух состояниях: одно из них называют «резус +», а другое — «резус −». В браках резус-отрицательных женщин с резус-положительными мужчинами вследствие доминирования резус-положительности плод приобретает это свойство и выделяет в кровеносную систему матери особое вещество, так называемый *антиген.* Против него в организме матери начинают вырабатываться антитела, разрушающие кроветворную систему плода. В

результате реакции между организмами матери и плода в период беременности может развиваться отравление как материнского организма, так и плода. Это может быть причиной гибели плода.

Выяснение характера наследования этой системы крови и ее биохимической природы позволило разработать медицинские приемы, избавившие человечество от огромного количества ежегодных детских смертей.

Нежелательность родственных браков. В современном обществе родственные браки (браки между двоюродными братьями и сестрами) сравнительно редки. Однако есть области, где в силу географических, социальных, экономических или других причин небольшие контингенты населения в течение многих поколений живут изолированно. В таких изолированных популяциях (так называемых изолятах) частота родственных браков по понятным причинам бывает значительно выше, чем в обычных «открытых» популяциях. Статистика свидетельствует, что у родителей, состоящих в родстве, вероятность рождения детей, пораженных теми или иными наследственными недугами, или частота ранней детской смертности в десятки, а иногда даже в сотни раз выше, чем в неродственных браках. Родственные браки особенно нежелательны, когда имеется вероятность гетерозиготности супругов по одному и тому же рецессивному вредному гену.

Медико-генетическое консультирование. Знание генетики человека позволяет прогнозировать вероятность рождения детей, страдающих наследственными недугами в случаях, когда один или оба супруга больны или оба родителя здоровы, но наследственное заболевание встречалось у предков супругов. В ряде случаев имеется возможность прогноза вероятности рождения второго здорового ребенка, если первый был поражен наследственным заболеванием.

По мере повышения биологической и особенно генетической образованности широких масс населения родители или молодые супружеские пары, еще не имеющие детей, чаще и чаще обращаются к врачам-генетикам с вопросом о величине риска иметь ребенка, пораженного наследственной аномалией. Медико-генетические консультации сейчас открыты во многих областных и краевых центрах СССР.

В ближайшие годы такие консультации прочно войдут в быт людей, как уже давно вошли детские и женские консультации. Широкое использование медико-генетических консультаций сыграет немаловажную роль в снижении частоты наследственных недугов и избавит многие семьи от несчастья иметь нездоровых детей.

Забота о чистоте среды обитания людей, непримиримая борьба с загрязнениями воды, воздуха, пищевых продуктов веществами, обладающими мутагенным и канцерогенным действием (т. е. вызывающими возникновение мутаций или злокачественное перерождение клеток), тщательная проверка на «генетическую безвредность» всех косметических и лекарственных средств и препаратов бытовой

химии — все это является важным условием для снижения частоты появления у людей наследственных недугов.

Следует знать, что курение и особенно употребление алкоголя матерью или отцом будущего ребенка резко повышает вероятность рождения младенца пораженного тяжелыми наследственными недугами.

1. Как вы считаете, почему у родителей, состоящих в родстве, велика вероятность рождения детей, пораженных наследственными заболеваниями?
2. Каковы возможности лечения наследственных заболеваний?
3. Меняются ли гены при лечении наследственных заболеваний?
4. Почему родственные браки нежелательны?
5. На чем основано медико-генетическое консультирование и какие цели оно преследует?

Глава IX. ГЕНЕТИКА И СЕЛЕКЦИЯ

Слово «селекция» означает отбор. Однако практически под селекцией понимается наука о создании новых и улучшении существующих пород домашних животных и сортов культурных растений. Вместе с тем под селекцией подразумевают и сам процесс изменения животных, культурных растений и различных микроорганизмов, осуществляемый человеком ради своих потребностей. Следовательно, селекция есть род практической деятельности людей.

§ 34. ОДОМАШНИВАНИЕ КАК НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП СЕЛЕКЦИИ

Что такое селекция? В широком смысле слова селекция как процесс изменения домашних животных и культурных растений, по выражению Н. И. Вавилова, «представляет собой эволюцию, направляемую волей человека». Как род практической деятельности люлей селекция возникла еще на заре человеческой культуры. Однако селекция стала наукой сравнительно недавно. Теория селекции стала успешно развиваться благодаря эволюционной теории Ч. Дарвина о творческой роли отбора, а затем на основе генетики.

Все современные сорта растений и породы животных, без которых немыслима современная цивилизация, созданы человеком благодаря селекции. В наше время перед селекцией стоят громадные задачи по созданию новых высокопродуктивных пород животных и сортов растений, приспособленных к условиям современного индустриального сельского хозяйства, а также нужных человеку штаммов микроорганизмов.

Важное место в теории селекции занимает генетика, поэтому развитие генетических основ селекции необходимо для сельскохозяйственной практики.

Одомашнивание как первый этап селекции. Все современные домашние животные и культурные растения произошли от диких предков. Процесс превращения диких животных и растений в культурные формы называют *одомашниванием.* Главным фактором одомашнивания служит искусственный отбор организмов, отвечающих требованиям человека. Если самка первобытного тура — предка современного крупного скота — продуцировала лишь десятки или сотни килограммов молока, необходимые ей для кормления теленка, то отдельные коровы современных пород дают до 15 000 кг молока за лактацию, т. е. за период между отелами.

Для животных, например, первым условием, а вместе с тем и показателем одомашнивания было создание (путем отбора) особей, способных к контактам с человеком, к сосуществованию с ним. Иначе говоря, человек изменял поведение животных, превращая их из диких в домашних. В условиях естественной природы культурные, т. е. одомашненные формы существовать, как правило, не могут.

Уже на первых этапах процесс одомашнивания вызвал резкое повышение изменчивости животных, что создало предпосылки для успешного осуществления искусственного отбора. В результате этого между породами современных домашних животных и сортами растений возникли большие различия. Эти различия во многих случаях превышали различия не только между видами, но даже родами.

Первые попытки одомашнивания животных и растений предпринимались людьми еще за 20—30 тыс. лет. до н. э. Одомашнивание животных началось, вероятно, со случайного выращивания диких животных человеком. Некоторые из этих еще диких животных могли существовать в контакте с человеком и начали размножаться в условиях, созданных для них. Так начался первый этап их одомашнивания.

Широкое одомашнивание начинается с VIII — VI тыс. до н. э. Именно тогда человек вовлек в культуру подавляющее большинство животных и растений. Некоторые виды животных и растений были одомашнены значительно позднее. Так, кроликов люди стали разводить лишь в средневековье, сахарную свеклу стали возделывать как полевое сахарное растение только в XIX в., а мяту — в XX в.

В наше время человек для удовлетворения своих потребностей продолжает одомашнивать новые виды животных и растений. Для получения высококачественной пушнины в XX столетии создана новая отрасль животноводства — пушное звероводство. Несомненно, человек в дальнейшем будет вовлекать в одомашнивание все новые виды животных и растений.

Центры происхождения культурных растений. Выдающийся вклад в развитие представлений о центрах происхождения культурных растений внес Н. И. Вавилов и его сотрудники.

В результате многочисленных экспедиций, организованных Н. И. Вавиловым в самые отдаленные уголки планеты, где возникли древние земледельческие цивилизации, была собрана уникальная, самая крупная в мире коллекция разнообразных культурных растений. Именно она послужила фундаментом той огромной коллекции, которая ныне находится во Всесоюзном институте растениеводства (Ленинград) и активно служит интересам науки и практики.

В настоящее время выделяют следующие главные центры происхождения культурных растений (табл.). Исследования показали, что родоначальником культурного риса стали два диких вида этого растения — азиатский и африканский. Из 20 диких видов ячменя (многолетних) был одомашнен лишь один вид — двурядный ячмень.

Главные центры происхождения культурных растений и их одомашнивания

Название центра	Одомашненные растения
1. Индонезийско-Индокитайский	Бананы, сахарная пальма, саговая пальма, хлебное дерево, сахарный тростник
2. Китайско-японский	Рис, просо, соя, шелковица
3. Среднеазиатский	Горох, лен, морковь, лук, миндаль, грецкий орех, виноград
4. Переднеазиатский	Пшеница, рожь, ячмень, овес, нут, чечевица
5. Средиземноморский	Оливковое дерево, капуста, брюква, люпин
6. Африканский	Сорго, кунжут, клещевина, хлопчатник, арбуз, кофе
7. Южноамериканский	Маниок, фасоль, томаты, арахис, ананас, картофель
8. Среднеамериканский	Кукуруза, фасоль, тыква, красный перец, табак, какао

Овес и рожь одомашнены значительно позднее, чем пшеница и ячмень. До этого они существовали как дикие растения, засорявшие посевы пшеницы.

О происхождении и систематическом положении современных культурных растений судят на основе сравнительно-морфологического, физиологического исследования, а также изучения структуры хромосом.

Районы одомашнивания животных. Районы одомашнивания животных, как можно судить на основании современных зоологических и археологических исследований, связаны с центрами проис-

хождения культурных растений. По-видимому, в районах индонезийско-индокитайского центра впервые были одомашнены животные, не образующие крупных стад: собака, свинья, куры, гуси, утки.

В районах Передней Азии, как предполагают, впервые были одомашнены овцы, а в Малой Азии — козы. Предок крупного рогатого скота — тур — впервые одомашнен в ряде областей Евразии, предки домашней лошади — в степях Причерноморья. В районе американских центров происхождения растений были одомашнены такие животные, как лама, альпака, индейка.

Происхождение домашних животных. Одно из наиболее древних домашних животных — собака. До недавнего времени было много споров о происхождении собаки. Теперь установлено, что единственным предком домашней собаки был волк. Родоначальником крупного рогатого скота был первобытный бык — тур. Тур распространился в Евразии и Северной Африке, но постепенно был уничтожен человеком.

Предками домашней овцы были, по-видимому, дикие бараны — муфлоны, которые в свое время широко распространились в нагорьях юга Европы и Передней Азии. Многие исследователи предполагали, что предком домашней лошади послужила дикая лошадь Пржевальского. Однако после того, как было обнаружено различие в числе хромосом между домашней лошадью и лошадью Пржевальского, возможным предком домашних лошадей стали считать тарпана — дикую лошадь южнорусских степей, окончательно истребленную в конце XIX — начале XX в. Тарпан и лошадь Пржевальского произошли от какого-то общего предка.

Родоначальник домашней свиньи — дикий кабан, распространен на огромной территории Евразии. Предком домашней кошки была африканская дикая кошка. Домашняя курица произошла от дикой красной курицы джунглей.

Таким образом, для каждого вида домашних животных или растений, несмотря на обилие пород и сортов, удается отыскать, как правило, одного дикого предка, который и был подвергнут одомашниванию.

? 1. Охарактеризуйте первый этап селекции, раскройте его сущность.
2. Из большого разнообразия видов животных, обитающих на Земле, человек отобрал для одомашнивания сравнительно немного видов. Чем, на ваш взгляд, это объясняется?
3. Какое практическое значение для селекции имеет учение Н. И. Вавилова о центрах происхождения культурных растений?

○ Повторите § 30.

§ 35. МЕТОДЫ СОВРЕМЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ

Значение изменчивости для отбора. В основе селекционного процесса лежит *искусственный отбор*. Отбирая для размножения лучших животных, наиболее продуктивные формы растений или штаммы микроорганизмов, человек коренным образом изменяет диких родоначальников. Учение об отборе, созданное Ч. Дарвином, а также знания об изменчивости и наследственности организмов составляют основу теории и практики селекции.

Еще Ч. Дарвин отметил, что материал для отбора поставляет наследственная изменчивость, возникающая в пределах пород животных и сортов растений. Отбор изменяет признак только в том случае, если особи, которые подвергаются отбору, наследственно разнообразны.

Отбор и его творческая роль. На первых этапах одомашнивания человек пользовался отбором бессознательно, т. е. без осознанной цели изменить животных и растения в нужном направлении. Он оставлял лишь тех животных, которые способны были существовать и размножаться в условиях неволи. Агрессивные и трусливые животные либо уничтожались, либо оказывались настолько подавлены, что не были в состоянии размножаться. Таким образом, человек бессознательно отбирал животных по поведению и изменил их настолько, что дикие животные стали домашними, а некоторые, например собаки, друзьями человека.

Бессознательному отбору подвергались, конечно, и растения. Например, дикие примитивные формы злаков характеризуются ломкостью колоса, что служит приспособлением для распространения семян. Собирая урожай растений в определенное время, человек вел бессознательный отбор на прочность колосового стержня, что стало характерным признаком культурных злаков.

На ранних этапах развития животноводства и растениеводства человек заметил, что от лучших особей, т. е. в наибольшей степени удовлетворяющих его потребности, рождается, как правило, лучшее потомство. С этого времени человек, еще не зная законов наследственности и не владея теорией отбора, стал использовать его сознательно, оставляя для дальнейшего размножения наиболее удовлетворяющие его организмы животных или растений. Такой сознательный, методический отбор, осуществлявшийся человеком в течение многих поколений, привел к резкому изменению целого ряда признаков и свойств животных и растений, сделал их приспособленными к потребностям человека и не похожими на их диких предков. Таким образом, отбор создал новые формы организмов. В этом состоит его творческая роль.

Оценка наследственных качеств. Признаки, которые интересуют селекционера, очень разнообразны. Фенотипическая изменчивость некоторых из них в сильной степени определяется разнообразием генотипов и сравнительно мало зависит от условий существования. Примером может служить длина шерсти у овец.

Другие признаки, наоборот, мало зависят от генетической

изменчивости и сильно подвержены влиянию внешней среды. К таким признакам относится молочная продуктивность крупного рогатого скота. Важнейшая задача, которая встает перед селекционерами, состоит в том, чтобы оценить наследственные качества особей и выбрать для размножения лучших не только по фенотипу, но и по генотипу.

В селекции животных особенно важна оценка по генотипу производителей. Существует несколько методов оценки наследственных качеств производителей. Наиболее точный из них — оценка их *племенных* (наследственных) качеств по потомству. В результате оценки выделяются лучшие по тем или иным качествам производители. Они интенсивно используются для получения максимального количества потомства, представляющего для сельского хозяйства большую ценность.

Отбор, основанный на оценке наследственных качеств отдельных растений, используется и в растениеводстве. В этом случае оценивается потомство отдельных *самоопыленных* (чистых) линий растений, выделенных из какого-либо сорта, а для размножения отбираются лучшие линии.

Родственные скрещивания и их значение в селекции. Многочисленные исследования и практический опыт свидетельствуют о том, что близкородственное разведение животных, так же как и принудительное самоопыление растений, часто ведут к резкому снижению жизнеспособности и плодовитости потомков. Одна из причин этого состоит в быстром повышении гомозиготности потомков.

Вместе с тем родственное скрещивание благодаря повышению гомозиготности способствует закреплению выдающихся качеств отдельных особей. По этой причине оно нередко применяется в случаях, когда селекционер ставит перед собой задачу сохранить в потомстве качества какого-либо выдающегося животного. В частности, известный советский ученый и селекционер М. Ф. Иванов использовал тесные родственные спаривания при создании украинской степной белой породы свиней. Близкородственное спаривание применяется также для получения линий (в растениеводстве — самоопыленных линий), скрещивание которых вызывает эффект гетерозиса.

Гетерозис, его использование в сельском хозяйстве. Давно было замечено, что при скрещивании друг с другом генетически отдаленных форм иногда получаются организмы, характеризующиеся мощным развитием и высокой жизнеспособностью. Высокая жизнеспособность, возникающая в результате скрещивания, называется *гетерозисом.* Классическим примером гетерозиса является мул — организм, возникший в результате скрещивания осла и лошади. Это сильные, выносливые животные, которые могут использоваться в значительно более трудных условиях, чем родительские формы. Гетерозис может возникать также при межпородных, межсортовых и межлинейных скрещиваниях.

В животноводстве широко применяется межпородный гетерозис. Скрещивание двух разных пород, генетически отличающихся

друг от друга, дает гибриды F_1, гетерозиготные по очень большому числу генов. Эти гибриды быстро растут, дают хороший привес, достигают большой массы за более короткие сроки. Для получения такого гетерозиса надо вести отдельно селекцию по каждой породе и получать гибриды между ними.

В растениеводстве, в частности при выращивании кукурузы, можно получать гетерозис от скрещивания двух генетически отличающихся линий. Линии выводят самоопылением, в результате чего значительная часть генов переходит в гомозиготное состояние. Растения таких линий, как правило, низкорослы и малоурожайны. Гибриды же от их скрещиваний вследствие гетерозиготности часто проявляют гетерозис, выражающийся в лучшем развитии вегетативной массы и в повышенном урожае зерна. Урожайность гибрида сравнительно с урожайностью сорта повышается в 1,5—2 раза.

? 1. Какие формы искусственного отбора вам известны? Охарактеризуйте их.
2. Объясните, с какой целью оценивают наследственные качества производителей.
3. Почему в практике сельского хозяйства используют близкородственное скрещивание?
4. Гетерозис в последующих поколениях обычно не сохраняется, затухает. Почему, на ваш взгляд, это происходит?
5. Каково биологическое значение гетерозиса?

○ Повторите § 32.

§ 36. ПОЛИПЛОИДИЯ И ОТДАЛЕННАЯ ГИБРИДИЗАЦИЯ

Полиплоидия и отдаленная гибридизация в селекции растений. Многие культурные растения *полиплоидны,* т. е. содержат более двух полных наборов хромосом. Среди полиплоидов оказываются многие основные продовольственные культуры: пшеница, картофель, овес. Поскольку некоторые полиплоиды обладают большой устойчивостью к действию неблагоприятных факторов и хорошей урожайностью, их использование в селекции оправдано.

Существуют методы, позволяющие экспериментально получать полиплоидные растения. За последние годы с их помощью созданы полиплоидные сорта ржи, гречихи, сахарной свеклы.

Отдаленная гибридизация, т. е. скрещивание растений, которые относятся к разным видам и даже родам, перспективна для создания совершенно новых форм растений. Однако гибриды первого поколения, как правило, бесплодны. Причина бесплодия заключается в нарушении конъюгации хромосом в мейозе. Полиплоидизация отдаленных гибридов приводит к восстановлению плодовитости благодаря нормализации мейотического процесса.

Впервые советский генетик Г. Д. Карпеченко в 1924 г. на основе полиплоидии преодолел бесплодие и создал капустно-редечный гиб-



Рис. 47. Процесс преодоления бесплодия межвидового гибрида на основе полиплоидизации (капустно-редечный гибрид).

рид (рис. 47). Капуста и редька в диплоидном наборе имеют по 18 хромосом ($2n=18$). Соответственно их гаметы несут по 9 хромосом (гаплоидный набор). Гибрид капусты и редьки имеет 18 хромосом. Хромосомный набор слагается из 9 «капустных» и 9 «редечных» хромосом. Этот гибрид бесплоден, так как хромосомы капусты и редьки не конъюгируют, поэтому процесс образования гамет не может протекать нормально. В результате удвоения числа хромосом в бесплодном гибриде оказались два полных (диплоидных) набора хромосом редьки и капусты ($2n=36$). Вследствие этого возникли нормальные условия для мейоза: хромосомы капусты и редьки соответственно конъюгировали между собой. Каждая гамета несла по одному гаплоидному набору редьки и капусты ($9 + 9 = 18$). В зиготе вновь оказалось 36 хромосом; гибрид стал плодовитым.

Мягкая пшеница — природный полиплоид, состоящий из шести гаплоидных наборов хромосом родственных видов злаков. В процессе ее возникновения отдаленная гибридизация и полиплоидная играли важную роль. Методом полиплоидизации советские селекционеры создали ранее не встречавшуюся в природе ржано-пшеничную форму — тритикале. Создание тритикале — нового вида зерновых, обладающего выдающимися качествами, — одно из крупнейших достижений селекции. Он был выведен благодаря объединению хромосомных комплексов двух различных родов — пшеницы и ржи. Тритикале по урожайности, питательной ценности и другим качествам превосходит обоих родителей. По устойчивости к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям и наиболее опасным болезням она превосходит пшеницу, не уступая ржи.

В настоящее время генетики и селекционеры создают новые формы злаков, плодовых и других культур с использованием отдаленной гибридизации и полиплоидии.

Полиплоидия и отдаленная гибридизация у животных. Полиплоидия у животных в природе встречается редко. Однако у некоторых видов домашних животных она возможна. Известный советский ученый Б. Л. Астауров впервые создал полиплоидные формы тутового шелкопряда. Он пошел по пути, сходному с тем, который предложил Г. Д. Карпеченко. Используя отдаленную гибридизацию и полиплоидию, он создал совершенно новую форму тутового шелкопряда, объединившую в своем геноме хромосомы двух разных видов. Эта работа, несомненно, относится к числу блестящих достижений современной биологии.



ИВАН ВЛАДИМИРОВИЧ МИЧУРИН (1855 — 1935) — отечественный селекционер. На основе методов межсортовой и отдаленной, т. е. межвидовой, гибридизации, отбора и воздействия условиями среды он создал многие сорта плодовых культур. Благодаря работам И. В. Мичурина многие южные сорта плодовых культур удалось распространить в среднюю полосу нашей страны. Он был избран почетным членом Академии наук СССР, действительным членом Всесоюзной академии сельского хозяйства им. В. И. Ленина.

Работы И. В. Мичурина. Работая всю жизнь в области селекции плодовых деревьев, известный советский селекционер И. В. Мичурин достиг значительных практических результатов в создании новых сортов плодово-ягодных культур. Важный результат его деятельности состоит в том, что он способствовал развитию представлений об отдаленной гибридизации растений.

Однако И. В. Мичурин не сразу пришел к использованию методов гибридизации и отбора как основных в создании сортов. В начале своей деятельности он исходил из представлений о том, что приспособление культурных сортов плодовых деревьев к новым условиям жизни может быть достигнуто прививкой в их крону выносливых и холодоустойчивых сортов. Однако на этом пути И. В. Мичурин испытал горечь поражений и неудач.

В дальнейшем И. В. Мичурин работал методами гибридизации и отбора. Установив зависимость развития признаков у гибридных растений от условий внешней среды, И. В. Мичурин показал возможность *управления доминированием*. Выращивание гибридов на хорошо удобренных почвах способствует формированию у них свойств более культурного высокопродуктивного сорта, но приводит к снижению выносливости к неблагоприятным климатическим условиям. Наоборот, при выращивании на более тощих почвах развивалось меньше гибридных растений с хорошими культурными качествами.

Таким образом, применение гибридизации, искусственного отбора, а также активное использование факторов внешней среды позволяет селекционерам добиваться крупных успехов в создании продуктивных и устойчивых сортов растений и пород животных.

1. Сравните между собой внутривидовую и отдаленную гибридизацию, выявите черты сходства и различия.
2. Почему отдаленная гибридизация ведет к бесплодию гибридов?
3. Что вам известно о применении полиплоидии в селекции?
4. Возможно ли создание плодовитых отдаленных гибридов у животных?
5. Расскажите о вкладе И. В. Мичурина в развитие селекции.

§ 37. ИСКУССТВЕННЫЙ МУТАГЕНЕЗ[1] И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ В СЕЛЕКЦИИ

Вскоре после того, как было показано, что воздействие рентгеновыми лучами резко увеличивает темп мутационного процесса и вызывает массу новых мутаций, генетики приступили к разработке методов искусственного получения мутаций для целей селекции. В качестве *мутагенных,* т. е. вызывающих мутации, *агентов* в настоящее время широко используют различные виды ионизирующей радиации (рентгеновые лучи, гамма-лучи, тепловые и быстрые нейтроны, ультрафиолет) и специальные химические соединения.

В большинстве случаев мутации, возникающие у организмов под влиянием мутагенов, неблагоприятны для их носителей. Но наряду с мутациями, резко снижающими жизнеспособность, возникают и такие, которые могут представлять интерес для селекции.

Искусственный мутагенез, т. е. созданный человеком процесс возникновения мутаций, успешно применяется в селекции растений и микроорганизмов. Использование этого метода оказалось особенно эффективным применительно к разнообразным микроорганизмам: грибам, дрожжам, водорослям, бактериям. Микроорганизмы широко используются в пищевой промышленности, в производстве лекарств, биологически активных веществ, а также в производстве кормов для животных. Области их применения постоянно расширяются. С помощью искусственного мутагенеза, в частности, получены плесневые грибки, продуцирующие антибиотики в тысячи раз эффективнее, чем исходные формы. Значение антибиотиков общеизвестно: они сохраняют жизнь миллионам людей. Использованию искусственного мутагенеза в селекции привело к созданию высокопродуктивных штаммов микроорганизмов — продуцентов витаминов, аминокислот, белков, которые активно используются в медицине и сельском хозяйстве. В будущем роль микроорганизмов в различных отраслях человеческой жизни неизбежно возрастет, что еще больше повысит значение селекции и генетики микроорганизмов.

Благодаря использованию мутагенов возникают мутантные формы растений, у которых сохранены ценные свойства формы или сорта и вместе с тем улучшены признаки, особенно интересующие селекционеров.

[1]Мутагенез — процесс возникновения мутаций.

Мутантное растение лишь в редких случаях может быть сразу родоначальником сорта. В большинстве случаев такие растения служат тем материалом, который может быть использован для создания сортов путем гибридизации и отбора. Таким образом, искусственный мутагенез является важным и эффективным в арсенале методов, используемых в современной селекции

Примером эффективности метода искусственного мутагенеза может служить сорт яровой пшеницы Новосибирская-67, созданный в Институте цитологии и генетики Сибирского отделения АН СССР. Этот сорт получен на основе мутантной формы, возникшей под влиянием обработки рентгеновыми лучами семян сорта пшеницы Новосибирская-7 (рис. 48). Сорт Новосибирская-67 характеризуется укороченной и утолщенной соломиной, вследствие чего значительно повысилась его устойчивость против полегания. Он способен в условиях Западной Сибири давать урожай до 30—40 ц/га и обладает высокими хлебопекарными качествами.



Рис. 48. Новый сорт, полученный методом искусственного мутагенеза.

Слева — исходная форма (сорт яровой пшеницы Новосибирская-7); *справа* — новый сорт Новосибирская-67, полученный методом искусственного мутагенеза

1. Почему мутации обычно резко снижают жизнеспособность?
2. Объясните механизм искусственного мутагенеза, его молекулярные основы.
3. Представьте себе, что вы селекционер. Перед вами стоит задача — вывести новый высокоурожайный сорт пшеницы на основе искусственного мутагенеза. Расскажите о последовательности вашей работы и раскройте ее содержание.

○ Повторите § 16.

§ 38. УСПЕХИ СОВЕТСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

На основе методов гибридизации и отбора, развитых и обогащенных современной генетической теорией, во всем мире в настоящее время идет интенсивный процесс создания новых и улучшения существующих сортов растений и пород животных.

Успехи советских селекционеров-растениеводов. Крупных успехов добились советские селекционеры. Используя метод сложной

гибридизации географически отдаленных форм с последующим тщательным индивидуальным отбором в течение ряда поколений, П. П. Лукьяненко создал ряд сортов озимой пшеницы, занимающей миллионы гектаров посевной площади. Широкое распространение получил сорт пшеницы Безостая-1. Этот сорт обладает высокой урожайностью (65—70 ц/га и более). Он может расти в различных экологических условиях: на Северном Кавказе, юге Украины, в Молдавии, Закавказье, в некоторых районах Средней Азии и Казахстана, а также в Венгрии, Болгарии, Румынии, Югославии. Отличная урожайность этого сорта сочетается с высокими мукомольно-хлебопекарными качествами зерна. На основе сорта Безостая-1 советские селекционеры создали высокопродуктивные сорта пшениц, отвечающие потребностям сельского хозяйства (Краснодарская-57, Одесская полукарликовая и др.).

Больших успехов в селекции озимых пшениц, приспособленных к разнообразным условиям, достиг В. Н. Ремесло. Выведенный им сорт Мироновская-808 районирован почти по всей территории Украинской, Молдавской и Белорусской союзных республик, в Прибалтийских республиках и почти в 50 областях РСФСР. Этот сорт характеризуется высокой продуктивностью (55—60 ц/га), зимостойкостью и хорошей отзывчивостью на удобрения.

В селекции яровых пшениц наибольших успехов достигли в Научно-исследовательском институте сельского хозяйства юго-востока (г. Саратов) выдающиеся селекционеры А. П. Шехурдин и В. Н. Мамонтова. Сорт пшеницы Саратовская-29, выведенный этими селекционерами, наряду с высокой урожайностью характеризуется исключительными хлебопекарными качествами.

Широкую известность получили работы В. С. Пустовойта по селекции подсолнечника. Он начал селекционную работу с сортами, содержащими около 30% масла в семенах. В результате применения систематического отбора ему удалось получить сорта с содержанием масла 50% и более.

Развитие сельскохозяйственного производства постоянно требует новых сортов. Например, в Зауралье, Сибири, Казахстане около 95% площадей занято яровыми культурами. Они характеризуются поздним созреванием, низкой эффективностью использования весенней влаги. В результате их урожайность невелика. Новые сорта озимой пшеницы Лютесценс-4, Бögратионовка, созданные в Институте цитологии и генетики (Новосибирск), обладают высокой урожайностью, хорошей зимостойкостью, засухоустойчивостью и ранним созреванием.

Успехи советских селекционеров-животноводов. Больших успехов добились и селекционеры-животноводы. На основе методов подбора и гибридизации, результативность которых была ярко продемонстрирована, в частности, в уже упоминавшихся работах М. Ф. Иванова, были созданы новые замечательные породы всех видов домашних животных. На основе гибридизации дикого барана — архара с мериносами с последующим отбором животных, сочетающих в себе желательные качества, и с использованием близкородственного скрещивания Н. С. Батурин и его сотрудники вывели в Казахстане породу архара-мериноса, имеющую высокую шерстную продуктивность тонкорунных овец и присущую архару хорошую приспособленность к условиям высокогорных пастбищ.

Методы гибридизации и отбора положены в основу создания новой породной группы свиней казахская гибридная (Институт экспериментальной биологии в КазССР). В качестве исходных форм в процессе выведения этой породной группы были использованы свиньи кемеровской породы и дикий кабан. Строгим отбором гибридов второго, третьего и четвертого поколений с применением близкородственных скрещиваний получена группа животных, имеющих высокие продуктивные качества и вместе с тем свойственную диким свиньям большую приспособленность к характерным для Казахстана высоким летним и низким зимним температурам.

На основе использования методов межпородного скрещивания и дальнейшего строгого отбора выведены породы крупного рогатого скота с высоким уровнем молочной продуктивности и большим содержанием жира в молоке. Примером может служить костромская порода крупного рогатого скота, созданная на основе скрещивания местного поголовья с производителями швицкой и других пород с последующим строгим отбором и подбором, основанным на оценке племенных качеств животных. Высокая продуктивность животных этой породы характеризуется тем, что отдельные коровы дают от одного отела до другого свыше 16 000 кг молока.

Межпородное скрещивание было использовано также при создании новой советской мясо-шерстной породы овец. В качестве исходных родительских пород были выбраны алтайская тонкорунная порода, которая характеризуется хорошим качеством шерсти и высокой приспособленностью к местным условиям, и две английские скороспелые мясо-шерстные породы. Полученная в результате длительной селекционной работы и гибридизации порода характеризуется крепкой конституцией, большой живой массой (бараны 110—115 кг, матки 60—62 кг) и высоким настригом шерсти, которая отличается блеском, эластичностью и т. д.

Таким образом, используя методы отбора и гибридизации, человек коренным образом изменил природу растений и животных, вовлеченных в процесс одомашнивания. Эти методы и в настоящее время служат основными в селекции, они не потеряют значения и в будущем. Современная биология, в особенности генетика и цитология, существенно обогатили теорию и практику селекции, вооружили и будут вооружать ее новыми высокоэффективными методами управления формообразованием организмов и создания высокопродуктивных сортов растений и пород животных.

1. Какие методы используют в практике сельского хозяйства для выведения новых сортов растений и пород животных?
2. Что вам известно об успехах советских селекционеров?
3. Какое влияние, по вашему мнению, оказывают работы выдающихся селекционеров на развитие сельскохозяйственного производства?

Раздел IV.
ЭВОЛЮЦИЯ

Глава X.
РАЗВИТИЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ. ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИИ

Эволюция — это процесс исторического развития органического мира. Сущность этого процесса состоит в непрерывном приспособлении живого к разнообразным и постоянно меняющимся условиям окружающей среды, в возрастающем со временем усложнении организации живых существ. В ходе эволюции осуществляется преобразование одних видов в другие.

Главное в эволюционной теории — идея исторического развития от сравнительно простых форм жизни к более высокоорганизованным. Основы научной материалистической теории эволюции заложил великий английский натуралист Чарлз Дарвин. До Дарвина в биологии в основном господствовало неправильное понятие об исторической неизменности видов, о том, что их столько, сколько создано богом.

Однако и до Дарвина наиболее проницательные биологи понимали несостоятельность религиозных воззрений на природу и некоторые из них умозрительно пришли к эволюционным представлениям. Развитие ботаники и зоологии, изменение общественно-политических взглядов, формирование революционных идей в конце XVIII в. в Европе, особенно во Франции, вело к возникновению идей эволюционного развития природы и отказу от представлений о неизменности видов. Бюффон во Франции, Эразм Дарвин, дед Ч. Дарвина, в Англии, Гёте в Германии и другие натуралисты и мыслители высказывались в пользу эволюционного возникновения и развития жизни на Земле. Их правильные научные догадки не были, однако, достаточно подкреплены научными фактами, поэтому не могут рассматриваться как ясные научные теории.

Современная теория эволюции опирается на учение Дарвина, постоянно обогащается данными генетики, цитологии, молекулярной биологии, экологии.

§ 39. Ж. Б. ЛАМАРК. ПЕРВОЕ ЭВОЛЮЦИОННОЕ УЧЕНИЕ

Изменяемость видов. Наиболее крупным естествоиспытателем, предшественником Ч. Дарвина был известный французский ученый Жан Батист Ламарк. В своей знаменитой книге «Философия зоологии» он доказывал изменяемость видов.

Ламарк подчеркивал, что постоянство видов — явление только кажущееся, оно связано с кратковременностью наблюдений за видами. Несколько тысяч лет для природы — не более чем секунда, говорил он. Высшие формы жизни, по Ламарку, произошли от низших в процессе эволюции.

Ламарк ошибочно полагал, что основная сила, приводящая в движение весь эволюционный процесс, — внутренне присущее организмам стремление к совершенству. Стремление к совершенству, по мнению Ламарка, изначально заложено в живую материю творцом. Таким образом, важнейший вопрос о причине эволюционного развития не получил материалистического объяснения.

Ламарк придавал большое значение упражнению или неупражнению органов, особенно у высших животных. Длинная шея у жирафа, по его мнению, возникла вследствие постоянного упражнения этого органа в ряду поколений, что было вызвано необходимостью доставать листья с ветвей, высоко расположенных над землей. Редукция глаза у крота, удлинение языка у муравьеда — все эти факты Ламарк рассматривал, как результат упражнения или неупражнения органов и наследственного закрепления изменившихся привычек у животных под влиянием условий существования.

Оценка теории Ламарка. Выдающаяся заслуга Ламарка заключается в создании *первого эволюционного учения*. Он отверг идею постоянства видов, противопоставив ей представление об изменяемости видов. Его учение утверждало существование эволюции как исторического развития от простого к сложному. Впервые был поставлен вопрос о факторах эволюции. Ламарк совершенно правильно считал, что условия среды оказывают важное влияние на ход эволюционного процесса. Он был одним из первых, кто верно оценил значение времени в процессе эволюции и отметил чрезвычайную длительность развития жизни на Земле. Однако Ламарк допустил серьезные ошибки прежде всего в понимании факторов эволюционного процесса, выводя их из якобы присущего всему живому стремления к совершенству. Он также неверно понимал причины возникновения приспособленности, прямо связывал их с влиянием условий окружающей среды. Это породило очень распространенные, но научно совершенно необоснованные представления о наследовании признаков, приобретаемых организмами под непосредственным воздействием среды.

Эволюционное учение Ламарка не было достаточно доказательным и не получило широкого признания среди его современников. Лишь после выдающихся трудов Ч. Дарвина эволюционная идея стала общепринятой.



ЖАН БАТИСТ ЛАМАРК (1744—1829) — французский естествоиспытатель, зоолог, ботаник, палеонтолог, эволюционист. Предложил термин «биология». Впервые разделил животных на позвоночных и беспозвоночных, создал целостное эволюционное учение, был убежден в наследовании приобретенных признаков.

В России еще в XVIII в. выдвигались идеи о возможности эволюционных преобразований живой природы. Позднее, в первой половине XIX в., мысли об изменчивости видов и возможности их эволюционного происхождения высказывал К. Ф. Рулье, который был одним из немногих биологов, высоко оценившим сильные стороны учения Ламарка. Известный русский мыслитель и общественный деятель того времени А. И. Герцен также поддерживал эволюционную идею.

1. Как бы Ламарк объяснил эволюцию длинной шеи у жирафа?
2. Почему эволюционные взгляды Ламарка не получили признания в научном мире?
3. Каково значение учения Ламарка?

§ 40. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ДАРВИНИЗМА

Предпосылки дарвинизма. Интенсивное развитие капитализма в начале XIX в. резко ускорило развитие в Западной Европе науки, промышленности, сельского хозяйства. Выдающиеся результаты были достигнуты в создании новых высокопродуктивных пород овец, крупного рогатого скота, лошадей, кур и т. д. Были созданы новые сорта зерновых, овощных, плодово-ягодных, декоративных и других растений. Весь практический опыт доказывал изменяемость пород животных и сортов растений под влиянием человеческой деятельности.

В этот же период в сознание широких слоев образованных людей проникло представление о длительности существования Земли. Согласно религиозным представлениям жизнь на Земле была сотворена лишь несколько тысяч лет назад. Э. Кант резко раздвинул временные границы существования Земли. Он допускал, что ее возраст превышает сотни миллионов лет. Такое существенное увеличение

ЧАРЛЗ ДАРВИН (1809—1882) — английский натуралист, основатель учения о происхождении видов путем естественного отбора. Основные эволюционные труды: «Происхождение видов путем естественного отбора», «Изменение домашних животных и культурных растений под влиянием одомашнивания», «Происхождение человека и половой подбор», «Выражение эмоций у человека и животных».



времени, в течение которого жизнь могла развиваться, давало основу для эволюционных воззрений.

Замечательного прогресса достигли зоология и ботаника. Благодаря трудам выдающихся ученых XVIII и начала XIX в. были открыты и описаны основные классы животных и растений. Блестящих результатов достигла геология. Чарлз Лайель, выдающийся английский геолог и натуралист, создал теорию, согласно которой геологическое строение нашей планеты постоянно изменяется под влиянием естественных процессов. Центральное положение этой теории сводилось к тому, что геологические силы, действовавшие в прошлом, действуют и в настоящее время. Представления Лайеля сыграли важную роль в формировании эволюционного мировоззрения Ч. Дарвина. Таким образом, успехи науки и практической деятельности человека заложили фундамент, на котором позднее развилась эволюционная теория. Необходим был гений, способный осмыслить и обобщить гигантский материал. Таким гением оказался именно Ч. Дарвин.

Ч. Дарвин. Его теория эволюции. Величайшим достижением человеческой мысли является открытие Ч. Дарвином факторов эволюционного процесса. Дарвин убедительно доказал, что эволюция осуществляется под влиянием естественного отбора, который базируется на наследственной изменчивости организмов.

Уже в детстве Ч. Дарвин увлекался изучением растений, животных, минералов и коллекционированием. Позднее эти качества позволили ему стать выдающимся естествоиспытателем.

В 1831 г. Ч. Дарвин отправился в качестве натуралиста на паруснике «Бигль» в кругосветное путешествие, продолжавшееся почти 5 лет. В Англию он вернулся лишь в 1836 г.

Во время путешествия по Южной Америке Ч. Дарвин часто задумывался над причиной сходства современных видов животных с ископаемыми формами. Представление о многократном сотворении жизни на Земле казалось Дарвину маловероятным. Сопоставляя

факты, он пришел к мысли о наличии родственных связей современных и ископаемых видов. Важное влияние на мировоззрение Ч. Дарвина оказало посещение Галапагосских островов. Здесь он наблюдал удивительные виды рептилий и птиц, среди них особое внимание привлекло разнообразие вьюрков. Эти птицы нигде более не встречаются, но имеют значительные черты сходства с видом вьюрков, живущим на Американском континенте. Анализируя огромный материал, накопившийся за время путешествия, Ч. Дарвин постепенно пришел к представлению об изменяемости видов, т. е. к идее эволюции. Начиная с 1837 г. Ч. Дарвин систематически собирал и обдумывал факты, касающиеся изменяемости видов. Особое внимание он уделил изучению изменения животных и растений под влиянием одомашнивания.

К 1842 г. у Дарвина созревает идея будущей теории, и он делает первый ее набросок.

Постоянно размышляя о движущих причинах эволюционного процесса, Ч. Дарвин пришел к важнейшему для всей теории представлению *о борьбе за существование*. Сущность этой идеи, на первый взгляд, очень проста: каждый вид способен к безграничному размножению, а ресурсы, необходимые для размножения, ограничены. Следствием борьбы за существование является *естественный отбор*, т. е. выживание и успешное производство потомства наиболее приспособленными организмами. Опираясь на факты, Ч. Дарвин смог доказать, что естественный отбор — главнейший фактор эволюционного процесса в природе, а искусственный отбор играет такую же важную роль при создании пород животных и сортов растений.

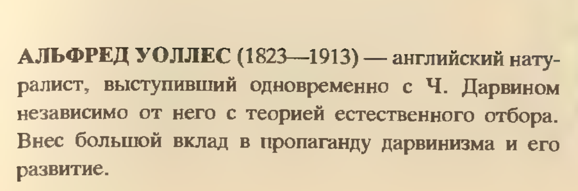
Ч. Дарвин также сформулировал принцип *расхождения признаков*, очень важный для понимания процесса образования новых видов. В результате естественного отбора возникают формы, отличающиеся от исходного вида и приспособленные к конкретным условиям среды. Со временем расхождение приводит к появлению больших отличий у исходно мало отличающихся форм. В результате у них формируются различия по многим признакам. С течением длительного времени накапливается столь большое количество различий, что возникают новые виды. Именно это обеспечивает разнообразие видов на нашей планете.

Таким образом, Ч. Дарвин создал теорию эволюции, которая была способна дать правильные ответы на самые главные вопросы: о факторах эволюционного процесса и причинах приспособленности живых существ к условиям существования.

Основные принципы эволюционного учения Ч. Дарвина сводятся к следующим положениям:

1. Каждый вид способен к неограниченному размножению.
2. Ограниченность жизненных ресурсов препятствует реализации потенциальной возможности беспредельного размножения. Большая часть особей гибнет в борьбе за существование и не оставляет потомства.
3. Гибель или успех в борьбе за существование носят избирательный характер. Организмы одного вида отличаются друг от друга совокупностью признаков. В природе преимущественно выживают и оставляют потомство те особи, которые имеют наиболее удачное для данных условий сочетание признаков, т. е. лучше приспособлены.





АЛЬФРЕД УОЛЛЕС (1823—1913) — английский натуралист, выступивший одновременно с Ч. Дарвином независимо от него с теорией естественного отбора. Внес большой вклад в пропаганду дарвинизма и его развитие.

Избирательное выживание и размножение наиболее приспособленных организмов Ч. Дарвин назвал *естественным отбором*.

4. Под действием естественного отбора, происходящего в разных условиях, группы особей одного вида из поколения в поколение накапливают различные приспособительные признаки. Группы особей приобретают настолько существенные отличия, что превращаются в новые виды (принцип расхождения признаков).

Независимо от Ч. Дарвина к подобным эволюционным идеям пришел талантливый английский зоолог Альфред Уоллес. Ч. Дарвин высоко оценил идеи молодого ученого о естественном отборе.

Впервые главный труд Ч. Дарвина был опубликован 24 ноября 1859 г. под названием «Происхождение видов путем естественного отбора». Интерес к этой книге превзошел все ожидания. Весь тираж (1250 экземпляров) был раскуплен за один день. Еще при жизни Дарвина «Происхождение видов» выдержало шесть изданий и было переведено на все европейские языки, в том числе и на русский. Дарвин написал также ряд выдающихся трудов по зоологии, ботанике и геологии, каждый из которых прославил бы его имя, даже в том случае, если бы он не был автором «Происхождения видов».

Ч. Дарвин скончался в 1882 г. и был похоронен как национальный герой в Вестминстерском аббатстве в Лондоне, рядом с И. Ньютоном.

Распространение дарвинизма. Убедительность идей Дарвина, огромный фактический материал, собранный и обобщенный им, произвели глубокое впечатление на современников. Началось триумфальное шествие дарвинизма. Крупнейшие ученые в разных странах способствовали распространению эволюционной теории Дарви-

на, защищали ее от нападок и сами вносили вклад в ее дальнейшее развитие. Дарвинизм оказал сильнейшее влияние не только на биологию и естественные науки, но и на общечеловеческую культуру, способствуя развитию естественнонаучных взглядов на возникновение и развитие живой природы и самого человека.

Дальнейшее развитие дарвинизма шло по пути его освобождения от остатков ламаркизма. Эту трудную задачу взял на себя выдающийся немецкий биолог Август Вейсман. Считая, что дарвинский принцип естественного отбора является основным фактором эволюции, в 1883 г. он решительно выступил против ламаркистской идеи о наследовании приобретенных признаков. А. Вейсман, А. Уоллес и другие известные дарвинисты собрали убедительные факты, доказывающие существование естественного отбора. Их работы в большой степени способствовали укреплению основных идей Ч. Дарвина. А. Вейсман впервые высказал мысль о локализации в хромосомах вещества наследственности, посредством которого свойства передаются от родителей детям. Особенно важно, что он сформулировал представление о дискретном строении этого вещества.

1. Какие факты натолкнули Дарвина на мысль об изменчивости видов?
2. Каковы социально-экономические и научные предпосылки возникновения дарвинизма? Почему дарвинизм возник именно в Англии и в середине XIX в.?
3. В чем заключается главный вклад Ч. Дарвина в естествознание?
4. Объясните, почему учение Ч. Дарвина оказалось более убедительным, чем учения, выдвинутые его предшественниками.

§ 41. ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИИ

Современная наука обладает очень многими фактами, доказывающими существование эволюционного процесса. Это данные биохимии, генетики, эмбриологии, анатомии, систематики, биогеографии, палеонтологии и многих других дисциплин.

Доказательства единства происхождения органического мира. Все организмы, будь то вирусы, бактерии, растения, животные или грибы, имеют удивительно близкий элементарный химический состав. У всех у них особо важную роль в жизненных явлениях играют белки и нуклеиновые кислоты, которые построены всегда по единому принципу и из сходных компонентов. Особенно важно подчеркнуть, что высокая степень сходства обнаруживается не только в строении биологических молекул, но и в способе их функционирования. Принципы генетического кодирования, биосинтеза белков и нуклеиновых кислот (см. § 14, 15) едины для всего живого. У подавляющего большинства организмов в качестве молекул-аккумуляторов энергии используется АТФ, одинаковы также механизмы расщепления сахаров и основной энергетический цикл клетки.

Большинство организмов имеют клеточное строение. Клетка — это основной «кирпичик» жизни. Ее строение и функционирование также очень сходно. Деление клеток — митоз, а в половых клетках — мейоз осуществляется принципиально одинаково у всех эукариот.

Крайне маловероятно, чтобы такое удивительное сходство в строении и функционировании живых организмов — следствие случайного совпадения. Оно результат общности происхождения их.

Эмбриологические доказательства эволюции. В пользу эволюционного происхождения органического мира говорят данные эмбриологии. Отечественные и зарубежные ученые обнаружили и глубоко изучили сходство начальных стадий эмбрионального развития животных (рис. 49). Все многоклеточные животные проходят в



Рис. 49. Сходство начальных стадий эмбрионального развития позвоночных

ходе индивидуального развития стадии бластулы и гаструлы. С особой отчетливостью выступает сходство эмбриональных стадий в пределах отдельных типов или классов. Например, у всех наземных позвоночных, так же как и у рыб, обнаруживается закладка жаберных дуг, хотя эти образования не имеют функционального значения у взрослых организмов. К приведенным примерам можно добавить и такие, как закладка зубов у беззубых китов, закладка крыльев у новозеландской бескрылой птицы киви и т. д. Подобное сходство эмбриональных стадий объясняется единством происхождения всех живых организмов.

Морфологические доказательства эволюции. Особую ценность для доказательства единства происхождения органического мира представляют формы, сочетающие в себе признаки нескольких крупных систематических единиц. Существование таких промежуточных форм указывает на то, что в прежние геологические эпохи жили организмы, являющиеся родоначальниками нескольких систематических групп. Наглядным примером этого может служить одноклеточный организм эвглена зеленая. Она одновременно имеет признаки, типичные для растений (хлоропласты, способность использовать углекислый газ) и для простейших животных (жгутики, светочувствительный глазок и даже подобие ротового отверстия).

Еще Ламарк ввел в зоологию деление животных на позвоночных и беспозвоночных. Долгое время между ними не обнаруживали связующих звеньев, пока исследования отечественного ученого А. О. Ковалевского не установили связь между этими группами животных. А. О. Ковалевский доказал, что типичное на первый взгляд беспозвоночное — сидячая асцидия — развивается из свободноплавающей личинки. Она имеет хорду и очень сходна с ланцетником, представителем, как тогда считали, позвоночных. На основании таких исследований всю группу животных, к которым принадлежали и асцидии, присоединили к позвоночным и дали этому типу наименование *хордовых*.

Связь между разными классами животных также хорошо иллюстрирует общность их происхождения. Яйцекладущие (например, ехидна и утконос) по ряду особенностей своей организации промежуточны между рептилиями и млекопитающими.

Строение передних конечностей некоторых позвоночных (рис. 50), например ласты кита, лапы крота, крыла летучей мыши, лапы крокодила, крыла птицы, руки человека, несмотря на выполнение этими органами совершенно разных функций, в принципиальных чертах строения сходны. Некоторые кости в скелете конечностей могут отсутствовать, другие — срастаться, относительные размеры костей могут меняться, но их *гомология,* т. е. сходство, основанное на общности происхождения, совершенно очевидна. *Гомологичными* называют такие органы, которые развиваются из одинаковых эмбриональных зачатков сходным образом.

Некоторые органы или их части не функционируют у взрослых животных и являются для них лишними — это так называемые *рудиментарные органы* или *рудименты.* Наличие рудиментов, так же как и гомологичных органов, — тоже свидетельство общности происхождения. Рудиментарные глаза встречаются у совершенно слепых животных, ведущих подземный образ жизни. Задние конечности у кита, скрытые внутри тела, — рудимент, свидетельствующий о наземном происхождении его предков. У человека тоже известны рудиментарные органы. Таковы мышцы, двигающие ушную раковину, рудимент третьего века, или так называемой мигательной перепонки, и т. д.

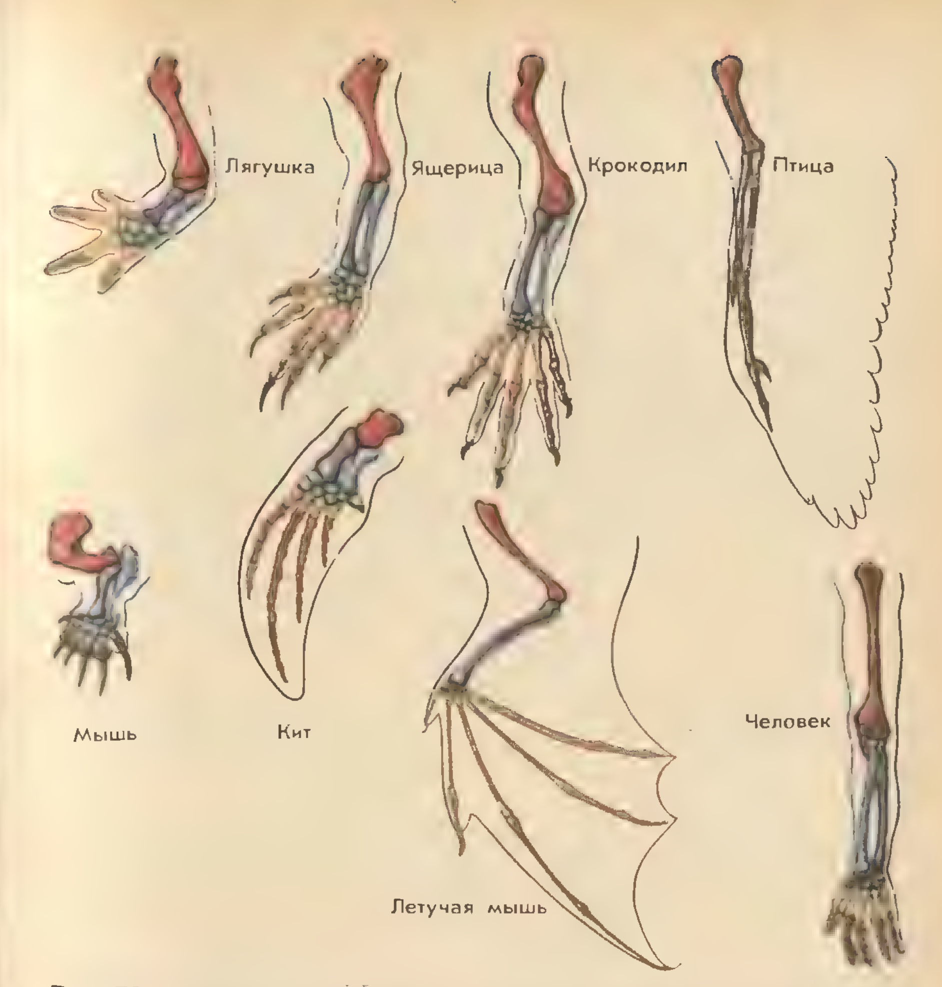


Рис. 50. Гомология передних конечностей наземных позвоночных

Палеонтологические[1] доказательства эволюции. Развитие, например, хордовых осуществлялось поэтапно. Вначале возникли

[1]Палеонтология — наука об ископаемых животных и растениях.

низшие хордовые, затем последовательно во времени возникают рыбы, амфибии, рептилии. Рептилии, в свою очередь, дают начало млекопитающим и птицам. На заре своего эволюционного развития млекопитающие были представлены небольшим числом видов, в то время процветали рептилии. Позднее резко увеличивается число видов млекопитающих и птиц и исчезает большинство видов рептилий. Таким образом, палеонтологические данные указывают на смену форм животных и растений во времени.

В отдельных случаях палеонтология указывает на причины эволюционных преобразований. В этом отношении интересна эволюция лошадей. Современные лошади произошли от мелких всеядных предков, живших 60—70 млн. лет назад в лесах и имевших пятипалую конечность. Изменение климата на Земле, повлекшее за собой сокращение площадей лесов и увеличение размеров степей, привело к тому, что предки современных лошадей начали осваивать новую среду обитания — степи. Необходимость защиты от хищников и передвижений на большие расстояния в поисках хороших пастбищ привела к преобразованию конечностей — уменьшению числа фаланг вплоть до одной (рис. 51). Параллельно изменению конечностей происходило преобразование всего организма: увеличение размеров тела, изменение формы черепа и усложнение строения зубов, возникновение свойственного травоядным млекопитающим пищеварительного тракта и многое другое.

В результате изменения внешних условий под влиянием естественного отбора произошло постепенное превращение мелких пятипалых всеядных животных в крупных травоядных. Богатейший палеонтологический материал — одно из наиболее убедительных доказательств эволюционного процесса, длящегося на нашей планете уже более 3 млрд. лет.

Биогеографические доказательства эволюции. Ярким свидетельством произошедших и происходящих эволюционных изменений



Рис. 51. Исторический ряд изменений в строении передней конечности лошади

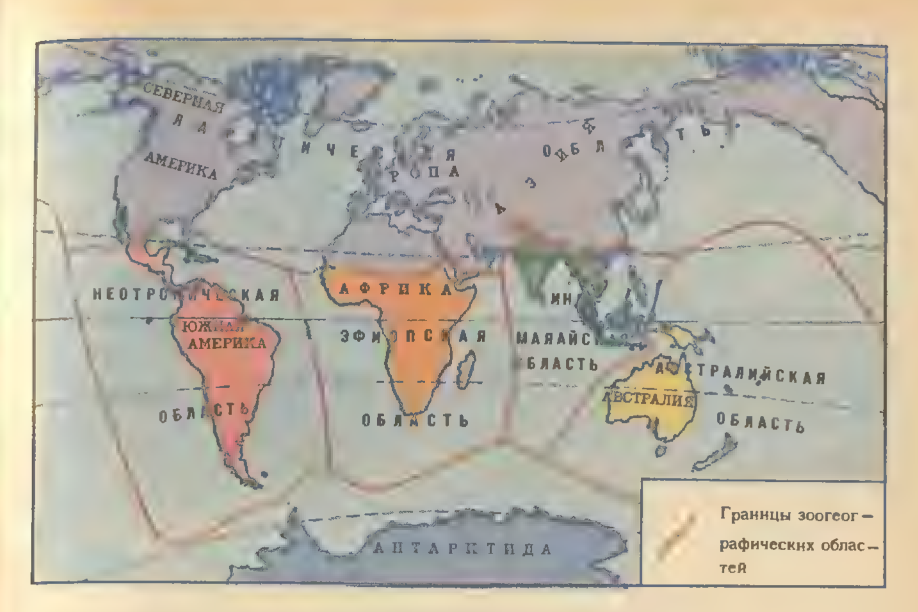


Рис. 52. Карта зоогеографических зон

является распространение животных и растений по поверхности нашей планеты. Еще в эпоху великих географических открытий путешественников и натуралистов поражало разнообразие животных в дальних странах, особенности их распространения. Однако лишь А. Уоллесу удалось привести все сведения в систему и выделить шесть биогеографических областей (рис. 52): 1) Палеоарктическую, 2) Неоарктическую (Палеоарктическую и Неоарктическую зоны часто объединяют в Голарктическую область), 3) Индо-Малайскую, 4) Эфиопскую, 5) Неотропическую и 6) Австралийскую.

Сравнение животного и растительного мира разных зон дает богатейший научный материал для доказательства эволюционного процесса. Фауна и флора Палеоарктической и Неоарктической областей, например, имеют много общего. Это объясняется тем, что в прошлом между названными областями существовал сухопутный мост — Берингов перешеек. Неоарктическая и Неотропическая области, напротив, имеют мало общих черт, хотя в настоящее время соединены Панамским перешейком, это объясняется изолированностью Южной Америки в течение нескольких десятков миллионов лет. После возникновения Панамского моста лишь немногим южноамериканским видам удалось проникнуть на север (дикобраз, броненосец, опоссум). Североамериканские виды преуспели в освоении южноамериканской области несколько больше. Ламы, олени, лисы, выдры, медведи проникли в Южную Америку, но не оказали существенного влияния на ее уникальный видовой состав.

Интересен и своеобразен животный мир Австралийской обла-

сти. Известно, что Австралия обособилась от Южной Азии еще до возникновения высших млекопитающих.

Таким образом, распределение видов животных и растений по поверхности планеты и их группировка в биогеографические зоны отражает процесс исторического развития Земли и эволюции живого.

Островные фауна и флора. Для понимания эволюционного процесса интерес представляют фауна и флора островов. Состав их фауны и флоры полностью зависит от истории происхождения островов. Острова могут быть материкового происхождения, т. е. представлять собой результат обособления части материка, или океанического происхождения (вулканические и коралловые).

Материковые острова характеризуются фауной и флорой, близкой по составу к материковой. Однако чем древнее остров и чем более значительна водная преграда, тем больше обнаруживается отличий. Британские острова отделились от Европы совсем недавно и имеют фауну, идентичную европейской. На давно обособившихся островах процесс расхождения видов заходит гораздо дальше. На Мадагаскаре, например, нет типичных для Африки крупных копытных: быков, антилоп, носорогов, зебр. Нет и крупных хищников (львов, леопардов, гиен), высших обезьян (павианов, мартышек). Однако много приматов — лемуров, которые нигде больше не встречаются.

Совершенно иная картина обнаруживается при рассмотрении фаун океанических островов. Их видовой состав очень беден. На большинстве таких островов отсутствуют наземные млекопитающие и амфибии, неспособные преодолеть значительные водные препятствия. Вся фауна океанических островов — результат случайного занесения на них некоторых видов, обычно птиц, рептилий, насекомых. Представители таких видов, попавшие на океанические острова, получают широкие возможности для размножения. Например, на Галапагосских островах из 108 видов птиц 82 эндемичны (т. е. нигде больше не встречаются), и все 8 видов рептилий характерны только для этих островов. На Гавайских островах обнаружено большое разнообразие улиток, из которых 300 эндемичных видов принадлежат одному роду.

Огромное количество разнообразных биогеографических фактов указывают на то, что особенности распределения живых существ на планете тесно связаны с преобразованием земной коры и с эволюционными изменениями видов.

1. О чем свидетельствуют следующие факты: сходная организация молекулярных процессов у всех организмов, живущих на Земле; наличие промежуточных форм и рудиментарных органов? Ответ обоснуйте.
2. Животный и растительный мир Северной Америки и Евразии сходен между собой, а флора и фауна Северной и Южной Америки сильно различаются. Как вы объясните эти факты?
3. Обычно на островах довольно часто встречаются эндемичные виды (больше нигде на земном шаре не встречающиеся). Чем это можно объяснить?
4. Ископаемое животное — археоптерикс имело признаки птицы и пресмыкающегося. Дайте оценку этому факту с научной точки зрения.

§ 42. ВИД. КРИТЕРИИ ВИДА. ПОПУЛЯЦИЯ.

В центре представлений Ч. Дарвина об эволюции органического мира стоит понятие *вид*. Вид объединяет организмы, сходные по морфологическим признакам. Это позволяет отличить одну группу организмов от другой. Такое понимание вида помогло классифицировать огромное разнообразие описанных форм организмов и сыграло положительную роль в развитии биологии. Накопление к концу XVII в. сведений о многообразии форм животных и растений привело к представлению о видах как о вполне реальных группах особей. Основополагающая работа о видах была проведена К. Линнеем, который заложил основы *систематики*.

До Ч. Дарвина большинство биологов считали, что виды неизменны с момента создания их «творцом». Эта «неизменность» являлась решающим аргументом всех антиэволюционных учений.

По мере углубления и расширения исследований различных видов ученые перестали ограничиваться редкими музейными экспонатами, а использовали более обширный материал. Было установлено, что вид включает организмы, характеризующиеся высокой степенью изменчивости различных признаков. В результате этого некоторые ранее самостоятельные виды были объединены в один общий вид. Некоторые ученые даже усомнились в реальности существования вида. Они высказывали мнение, что в действительности видов как реальных биологических единиц в природе не существует и что границы между видами ученые устанавливают более или менее произвольно. Но все дальнейшие исследования доказали, что виды реально существуют, они являются важнейшей ступенью организации живой природы.

Реальность вида в первую очередь доказывается системой критериев, которые позволяют достаточно четко отличить один вид от другого.

Популяционная структура вида. Каждый вид характеризуется определенным *ареалом* — территорией обитания. Внутри ареала могут быть самые разнообразные преграды (реки, горы, пустыни и т. д.), которые препятствуют свободному скрещиванию между группами особей одного и того же вида. Это, однако, не означает, что они абсолютно изолированы и не обмениваются генами. Просто скрещивание между представителями этих групп осуществляется значительно реже. Такие *относительно изолированные группы особей одного вида* принято называть *популяциями*.

Таким образом, вид состоит из популяций. Каждая популяция занимает определенную территорию (часть ареала вида). В течение

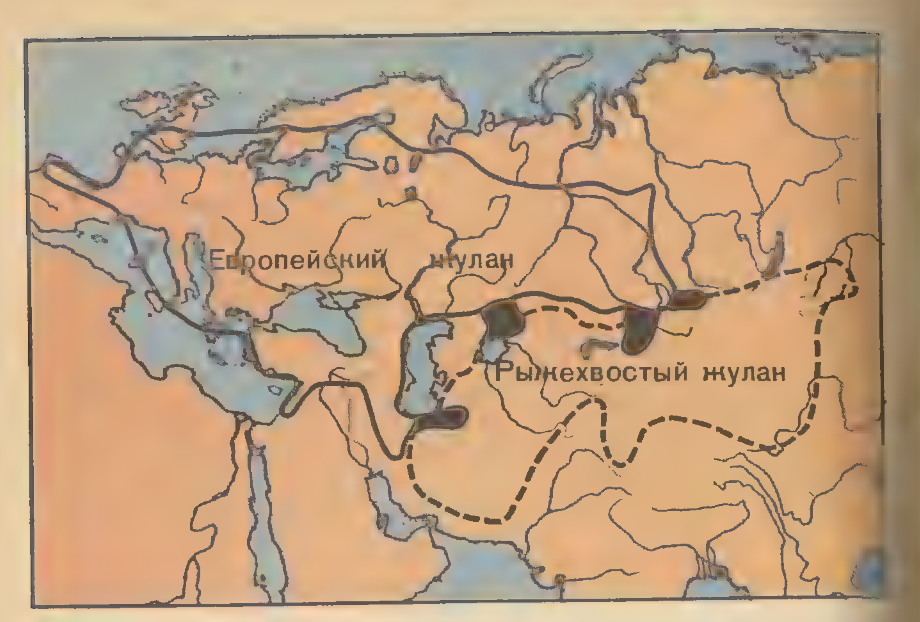


Рис. 53. Зоны контакта между ранее изолированными популяциями жулана

многих поколений, за продолжительное время популяция успевает накопить те аллели, которые обеспечивают высокую приспособленность особей к условиям данной местности. Так как из-за разницы условий естественному отбору подвергаются различные комплексы генов (аллелей), популяции одного вида отличаются друг от друга частотой встречаемости тех или иных аллелей. По этой причине в разных популяциях одного вида один и тот же признак может проявляться по-разному. Например, более северные популяции млекопитающих обладают более густым мехом, а южные чаще темноокрашенные.

В зонах ареала, где граничат разные популяции одного вида встречаются как особи контактирующих популяций, так и гибриды (рис. 53). Таким образом осуществляется обмен генами между популяциями и реализуются связи, обеспечивающие генетическое единство вида. Обмен генами между популяциями способствует большей изменчивости организмов, что обеспечивает более высокую приспособленность вида в целом к условиям обитания.

Если в результате усиления изоляции между популяциями обмен генов прекращается полностью, то разные направления отбора, которым подвергаются популяции, могут привести к столь сильному расхождению признаков, что возникает так называемая *репродуктивная изоляция*. Это означает *невозможность скрещивания и оставления плодовитого потомства*. В этом случае можно говорить о возникновении *нового вида*.

Иногда изолированная популяция в силу различных случайных причин (наводнение, пожар, массовое заболевание) и недостаточной численности может полностью погибнуть.

В некоторых случаях в результате геологических катаклизмов или других событий преграды между популяциями могут быть разрушены. В результате этих процессов происходит слияние ранее изолированных популяций в одну.

Таким образом, каждая популяция эволюционирует независимо от других популяций того же вида, обладает собственной эволюционной судьбой. Популяция — наименьшее подразделение вида, изменяющееся во времени. Вот почему популяция представляет собой элементарную единицу эволюции. Отдельный организм не может эволюционировать, так как его генотип определяется уже в момент оплодотворения. Вклад организма в эволюцию состоит в том, чтобы передать гены своим потомкам, т. е. следующим поколениям.

Критерии вида. *Критерий вида* — это *совокупность признаков, отличающих данный вид от другого.*

Морфологический критерий вида — один из важнейших. Под морфологическим критерием вида понимают совокупность внешних признаков организма. Долгое время этот критерий был главным и даже единственным. С его помощью легко различать виды, которые не являются близкими родственниками. Однако иногда виды внешне почти неразличимы, хотя в природе жестко изолированы и не скрещиваются между собой. Это виды-двойники. Следовательно, морфологический критерий не является достаточным.

Для определения вида важное значение имеет *генетический критерий;* имеется в виду набор хромосом, свойственный конкретному виду. Виды обычно отличаются по числу хромосом или по особенностям их строения, поэтому генетический критерий достаточно надежен. Однако и он не абсолютный. Встречаются случаи, когда виды имеют практически неразличимые по строению хромосомы. Кроме того, в пределах вида могут быть широко распространены хромосомные мутации, что затрудняет его точное определение.

Эколого-географический критерий вида определяет ареал его обитания. Каждый вид занимает определенную географическую зону. Считать данный критерий универсальным нельзя. В природе существует много близкородственных видов с совмещенным ареалом.

Наиболее существенной характеристикой вида является то, что вид представляет собой генетически единую систему. Особи разных популяций одного вида могут скрещиваться и давать плодовитое потомство. Вследствие этого гены могут распространяться из одной популяции вида в другую, образовывать новые комбинации. Но они не могут перейти из одного вида в другой из-за обособленности видов друг от друга специальными барьерами. В тех редких случаях, когда «незаконные» скрещивания происходят, включаются в действие многочисленные изоляционные механизмы, ведущие к гибели или неполноценности гамет, зигот, эмбрионов и потомков.

Итак, каждый критерий в отдельности не может быть основанием для определения вида; только в совокупности они позволяют точно выяснить видовую принадлежность живого организма.

На основании сказанного можно сделать следующее определение вида. *Вид — совокупность географически и экологически сходных популяций, способных в природных условиях скрещиваться между собой, обладающих общими морфофизиологическими признаками, биологически изолированных от популяций других видов.*

1. Что такое популяция? Приведите примеры популяций животных и растений вашего края.
2. Что называется видом? Приведите примеры видов, встречающихся в вашей местности.
3. Назовите и охарактеризуйте основные критерии вида. Докажите их относительный характер.
4. Как, по вашему мнению, человек использует знания о виде в своей практической деятельности?

Глава XI. МЕХАНИЗМЫ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Ч. Дарвин в своем классическом труде «Происхождение видов» решил вопрос о главных движущих силах (факторах) эволюционного процесса. Он выделил следующие факторы: *наследственность, изменчивость* и *естественный отбор*. Кроме того, Ч. Дарвин указал на важную роль ограничения свободного скрещивания особей вследствие их изоляции друг от друга, возникшей в процессе эволюционного расхождения видов.

Современные знания об эволюции и ее факторах сложились в так называемую *синтетическую теорию эволюции*, которая представляет собой результат развития дарвинизма, генетики, экологии и других биологических наук.

Эволюционная теория исходит из того, что элементарной эволюционной единицей, т.е. той минимальной ячейкой, которая способна исторически изменяться (эволюционировать), является популяция.

§ 43. РОЛЬ ИЗМЕНЧИВОСТИ В ЭВОЛЮЦИОННОМ ПРОЦЕССЕ

Все особи одного вида животных и растений в большей или меньшей степени отличаются друг от друга. Изменчивость организмов — важный фактор протекания эволюционного процесса.

Мутационная изменчивость. Мутационная изменчивость играет роль главного поставщика наследственных изменений. Именно она является первичным материалом всех эволюционных преобразова-



СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ ЧЕТВЕРИКОВ (1882—1959) — отечественный ученый, эволюционист и генетик Его работы дали начало современному синтезу генетики и классического дарвинизма.

ний. Одним из распространенных типов геномных мутаций является *полиплоидия*, имеющая важное значение в эволюции растений. Полиплоидные виды растений часто занимают арктические и альпийские зоны.

Считают, что это связано с их повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды.

Хромосомные мутации также играют важную эволюционную роль. Прежде всего необходимо указать на удвоение генов в одной хромосоме. Именно благодаря удвоениям генов в процессе эволюции накапливается генетический материал. Нарастание сложности организации живого в ходе исторического развития в значительной степени опиралось на увеличение количества генетического материала. Достаточно сказать, что количество ДНК в клетке у высших позвоночных примерно в 1000 раз больше, чем у бактерий. Другой тип хромосомных мутаций, который достаточно часто обнаруживается у животных и растений, — перемещение участка хромосомы. Гетерозиготность по таким хромосомным мутациям может препятствовать случайному скрещиванию особей, создавая возможность изоляции отдельных групп животных и растений внутри вида.

Наиболее частый тип мутаций — *генные*. Они играют очень важную роль в эволюционном процессе. Мутации отдельных генов происходят редко. Мутация гена возникает в среднем в одной из 100 000 гамет. Но так как количество генов в организме (например, млекопитающих) составляет около 100 000, то практически каждая особь несет вновь возникшую мутацию. Большинство мутаций рецессивные, доминантные мутации возникают намного реже. Доминантные и рецессивные мутации ведут себя в популяциях по-разному. Доминантные мутации, даже если они находятся в гетерозиготном состоянии, проявляются в фенотипах особей уже первого поколения и подвергаются действию естественного отбора. Рецессивные же мутации проявляются в фенотипе только в гомозиготном состоянии.

Рецессивная мутация, прежде чем она проявится в фенотипе

гомозигот, должна накопиться в значительном количестве в популяции. Эту мысль первым высказал выдающийся советский генетик С.С. Четвериков. Он был первым ученым, сделавшим важнейший шаг на пути объединения генетики с эволюционной теорией. В 1926 г. С.С. Четвериков опубликовал знаменитую работу «О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики», с которой и начался новый этап развития эволюционной теории.

С.С. Четвериков сделал важный вывод о насыщенности природных популяций большим количеством рецессивных мутаций. Он писал, что популяция, подобно губке, впитывает рецессивные мутации, оставаясь при этом фенотипически однородной. Существование такого скрытого резерва наследственной изменчивости создает возможность для эволюционных преобразований популяций под воздействием естественного отбора.

Комбинативная изменчивость. Как вы уже знаете, *комбинативная изменчивость* — это следствие перекреста гомологичных хромосом, их случайного расхождения в мейозе и случайного сочетания гамет при оплодотворении. Комбинативная изменчивость ведет к появлению бесконечно большого разнообразия генотипов и фенотипов. Она служит неиссякаемым источником наследственного разнообразия видов и основой для естественного отбора. Если допустить, что в каждой паре гомологичных хромосом имеется только одна пара аллельных генов, то для человека, у которого гаплоидный набор хромосом равен 23, количество возможных гамет составит 2^{23}, а число возможных генотипов 3^{23}. Такое огромное количество генотипов в 20 раз превышает численность всех людей на Земле. Однако в действительности гомологичные хромосомы отличаются по нескольким генам и в расчете не учтено явление перекреста. Поэтому количество возможных генотипов выражается астрономическим числом и можно с уверенностью утверждать, что возникновение двух одинаковых людей практически невероятно. Однояйцевые близнецы составляют исключение.

Громадное генотипическое и, следовательно, фенотипическое разнообразие в природных популяциях является тем исходным эволюционным материалом, с которым оперирует естественный отбор.

1. Какой, на ваш взгляд, вид изменчивости играет ведущую роль в эволюции? Ответ обоснуйте.
2. Охарактеризуйте роль изменчивости в эволюционном процессе.
3. Чем можно объяснить фенотипическую однородность популяций одного вида? Можно ли утверждать, что генофонды популяций одного вида одинаковы?
4. Какие биологические процессы, происходящие в организме, лежат в основе комбинативной изменчивости?

§ 44. ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР — НАПРАВЛЯЮЩИЙ ФАКТОР ЭВОЛЮЦИИ

Великая заслуга Ч. Дарвина состоит в открытии роли отбора как важнейшего фактора эволюционного процесса. Дарвин считал, что благодаря естественному отбору осуществляется процесс сохранения и преимущественного размножения организмов, которые обладают признаками, наиболее полезными в данных условиях окружающей среды. Естественный отбор, как показал Ч. Дарвин, является следствием борьбы за существование.

Борьба за существование. Все живые существа потенциально способны производить большое количество себе подобных. Например, потомство, которое потенциально способна оставить одна дафния (пресноводный рачок) за лето, достигает астрономической величины, более 10^{30} особей, что превосходит массу Земли.

Однако безудержного роста численности живых организмов в действительности никогда не наблюдается. В чем причина такого явления? Большая часть особей гибнет на разных этапах развития и не оставляет после себя потомков. Существует множество причин, ограничивающих рост численности животных: это и природно-климатические факторы, и борьба с особями других видов и своего вида.

Известно, что гибель тем интенсивнее, чем выше размножаемость особей данного вида. Белуга, например, выметывает во время нереста около миллиона икринок и только очень незначительная часть из них достигает зрелого возраста. Растения также производят огромное количество семян, но в естественных условиях лишь ничтожно малая их часть дает начало новым растениям. *Несоответствие между возможностью видов к беспредельному размножению и ограниченностью ресурсов — главная причина борьбы за существование.* Гибель потомков происходит по разным причинам. Она может носить как избирательный, так и случайный характер (гибель особей в лесном пожаре, в случае наводнения, вмешательство человека в природу и др.).

Внутривидовая борьба. Решающее значение для эволюционных преобразований имеет интенсивность размножения и избирательная гибель особей, плохо приспособленных к меняющимся условиям окружающей среды. Не следует думать, что особь, имеющая нежелательный признак, непременно должна погибнуть. Просто существует большая вероятность того, что она либо оставит после себя меньше потомков, либо совсем их не оставит, тогда как нормальная особь — размножится. Следовательно, выживают и размножаются всегда *более приспособленные*. В этом и заключен *главный механизм естественного отбора*. Избирательная гибель одних и переживание других индивидуумов — неразрывно связанные явления.

Именно в таком простом и на первый взгляд очевидном утверждении состоит гениальность дарвинской идеи естественного отбора, т.е. размножения более приспособленных особей, побеждающих в борьбе за существование. Борьба особей внутри одного вида носит

самый разнообразный характер. Особи не только «соревнуются» за источники пищи, влагу, солнце и территорию, но иногда вступают в прямую борьбу.

Взаимоотношения особей в пределах вида не ограничиваются борьбой и соревнованием, существует также и взаимопомощь.

Взаимопомощь особей, разграничение индивидуальных территорий — все это снижает остроту внутривидовых взаимодействий. Наиболее четко взаимопомощь проявляется в семейной и групповой организации животных, когда сильные и крупные особи защищают детенышей и самок, охраняют свою территорию и добычу, способствуя успеху всей группы или семьи в целом, часто ценой своей жизни. Размножение и гибель индивидуумов приобретают избирательный характер через соревнование генетически разнородных особей внутри данной популяции, поэтому внутривидовая борьба — наиболее важная причина естественного отбора.

Основным двигателем эволюционных преобразований является естественный отбор наиболее приспособленных организмов, возникающих вследствие борьбы за существование.

Межвидовая борьба. Под межвидовой борьбой следует понимать борьбу особей разных видов. Особой остроты межвидовая борьба достигает в тех случаях, когда противоборствуют виды, которые живут в сходных экологических условиях и используют одинаковые источники питания. В результате межвидовой борьбы происходит либо вытеснение одного из противоборствующих видов, либо приспособление видов к разным условиям в пределах единого ареала или, наконец, их территориальное разобщение.

Иллюстрацией последствия борьбы близких видов могут служить два вида скальных поползней. В тех местах, где ареалы этих видов перекрываются, т.е. на одной территории живут птицы обоих видов, длина клюва и способ добывания пищи у них существенно отличаются. В неперекрывающихся областях обитания поползней отличий в длине клюва и способе добывания пищи не обнаруживается. Межвидовая борьба, таким образом, ведет к экологическому и географическому разобщению видов.

В качестве примеров межвидовой борьбы приводят иногда борьбу хищника и жертвы, хозяина и паразита; подробнее об этом рассказано в § 66.

Эффективность отбора. Итак, разнообразные типы взаимодействия живых существ между собой и с условиями среды являются причиной гибели неприспособленных и выживания приспособленных. Какие условия необходимы для того, чтобы естественный отбор был достаточно эффективен? Датский генетик В. Иогансен ответил на этот вопрос. Он выделил у фасоли *чистые линии*, которые он получал самоопылением одного исходного растения и его потомков в ряду поколений. Созданные таким путем линии были гомозиготными по большинству генов, т.е. в пределах линий изменчивость носила только модификационный характер, если не учитывать редко возникающие мутации. В таких линиях отбор по величине бобов не приводил к их укрупнению или уменьшению в последующих поколениях. В обычных же гетерозиготных популяциях фасоли существовала наследственная изменчивость, и отбор оказывался эффективным.

Из экспериментов В. Иогансена следует очень важный вывод: в чистой линии, гомозиготной по большинству генов, наследственная изменчивость крайне незначительна и отбор поэтому неэффективен.

1. Объясните, какая борьба за существование (внутривидовая или межвидовая) наиболее ожесточенная и почему.
2. Назовите движущие силы эволюции и установите их взаимосвязи.
3. Используя знания по генетике, докажите, что отбор в чистых линиях неэффективен.
4. К каким, на ваш взгляд, результатам может привести межвидовая борьба за существование?
5. Знания о борьбе за существование и естественном отборе человек широко использует в практической деятельности. Докажите это.

§ 45. ФОРМЫ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТБОРА В ПОПУЛЯЦИЯХ

Естественный отбор всегда выступает как главный фактор преобразования живых организмов. Механизм его действия одинаков, т.е. естественный отбор каждый раз способствует выживанию и оставлению потомства наиболее приспособленных особей. Однако в зависимости от его направленности, эффективности и особенностей условий обитания организмов формы естественного отбора могут быть разными.

Движущая форма отбора. Организмы, составляющие любую популяцию или вид, как вы знаете, очень разнообразны. Несмотря на это, каждая популяция характеризуется некоторым средним значением любого признака. Для количественных признаков средняя величина определяется как среднее арифметическое значение, например средним числом рождаемых потомков, средней длиной крыла, средней массой тела. Для характеристики популяции по качественным признакам определяется частота (процент или доля) особей с тем или иным признаком; например, частота черных и белых бабочек или частота комолых и рогатых животных.

Изменение условий существования часто приводит к отбору особей, уклоняющихся от средней величины отбираемого признака. Например, было обнаружено, что ширина головогруди у крабов, обитающих в бухте г. Плимута (Англия), уменьшилась. Причина такого явления связана с выживанием в мутной воде мелких крабов с небольшой шириной головогруди. Это объясняется тем, что меловая взвесь забивала широкие дыхательные щели у крупных крабов, вызывая тем самым их гибель.

Яркий пример, доказывающий существование движущей формы естественного отбора в природе, — так называемый индустриаль-



Рис. 54. Индустриальный меланизм у бабочек

ный меланизм. Многие виды бабочек в районах, не подвергнутых индустриализации, имеют светлую окраску тела и крыльев. Развитие промышленности, связанное с этим загрязнение стволов деревьев и гибель лишайников, живущих на их коре, привели к резкому возрастанию частоты встречаемости черных (меланистических) бабочек. В окрестностях некоторых городов черные бабочки за короткое время стали преобладающими, тогда как сравнительно недавно они там полностью отсутствовали (рис. 54).

Причина возрастания частоты встречаемости черных бабочек в промышленных районах состоит в том, что на потемневших стволах деревьев белые бабочки стали легкой добычей птиц, а черные бабочки, наоборот, стали менее заметными.

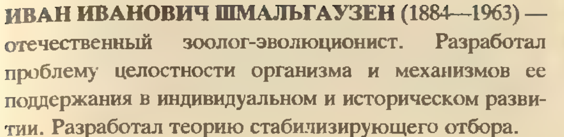
Примеров, доказывающих существование движущей формы отбора, множество, но суть их одна: естественный отбор до тех пор смещает среднее значение признака или меняет частоту встречаемости особей с измененным признаком, пока популяция приспосабливается к новым условиям (рис. 55). Движущая форма естественного отбора приводит к закреплению новой нормы реакции организма, которая соответствует изменившимся условиям окружающей среды. Отбор всегда идет по фенотипам, но вместе с фенотипом отбираются и генотипы, их обусловливающие. Необходимо подчеркнуть, что любая адаптация (приспособление) никогда не бывает абсолютной. Приспособление всегда относительно в связи с постоянной изменчивостью организмов и условий среды. Отбор особей с уклоняющимся от ранее установившегося в популяции значением признака называют *движущей формой отбора.*



Рис. 55. Движущая форма естественного отбора.

А — Г — последовательные изменения нормы реакции под давлением движущей силы естественного отбора





ИВАН ИВАНОВИЧ ШМАЛЬГАУЗЕН (1884—1963) — отечественный зоолог-эволюционист. Разработал проблему целостности организма и механизмов ее поддержания в индивидуальном и историческом развитии. Разработал теорию стабилизирующего отбора.

Стабилизирующая форма отбора. Приспособленность к определенным условиям среды не означает прекращения действия отбора в популяции. Поскольку в любой популяции всегда осуществляется мутационная и комбинативная изменчивость, то постоянно возникают особи с существенно отклоняющимися от среднего значения признаками. *Стабилизирующая форма отбора,* как это видно на рисунке 56, направлена в пользу установившегося в популяции среднего значения признака. При стабилизирующем отборе устраняются особи, существенно отклоняющиеся от среднего значения признаков, типичного для популяции или вида.

Наблюдаемое в любой популяции животных или растений большое сходство всех особей — результат действия стабилизирующей формы естественного отбора.

Известно много примеров стабилизирующего отбора. Во время бури преимущественно гибнут птицы с длинными и короткими крыльями, тогда как птицы со средним размером крыльев чаще выживают; наибольшая гибель детенышей млекопитающих наблюдается в семьях, размер которых больше и меньше среднего значения, поскольку это отражается на условиях кормления и на способности защищаться от врагов. Стабилизирующая форма естественного отбора была открыта выдающимся

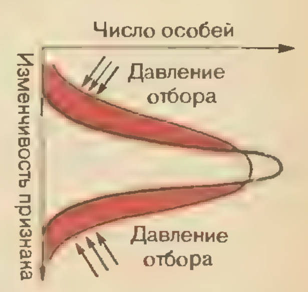


Рис. 56. Стабилизирующая форма естественного отбора

советским биологом-эволюционистом академиком И.И. Шмальгаузеном.

Говоря о естественном отборе в целом, нельзя упускать из вида его творческую роль. Накапливая полезные для популяции и вида наследственные изменения и отбрасывая вредные, естественный отбор постепенно создает новые, более совершенные и прекрасно приспособленные к среде обитания виды.

1. Сравните между собой движущую и стабилизирующую формы отбора, выявите черты сходства и различия.
2. Объясните механизм движущей и стабилизирующей форм отбора.
3. Как вы считаете, какую роль в эволюции играют движущая и стабилизирующая формы отбора?

§ 46. ДРЕЙФ ГЕНОВ — ФАКТОР ЭВОЛЮЦИИ

Случайные колебания частот генов в популяциях ограниченного размера. Случайные отклонения результатов расщеплений при моногибридном, дигибридном и других типах скрещиваний от ожидаемых величин — явление обычное. Даже в опыте Г. Менделя во втором поколении соотношение желтых семян к зеленым составило 6022:2001, т. е. не было точно равно 3:1. Если бы в подобном опыте было изучено не 8000 семян, а только 80, то вероятность получить соотношение 3:1 была бы существенно ниже. В малых популяциях действие случайных процессов приводит к заметным последствиям, в частности к изменениям частот аллелей. *Случайное ненаправленное изменение частот аллелей в популяции* получило название *дрейфа генов*.

Явление генетического дрейфа впервые обнаружили советские ученые-генетики Н.П. Дубинин и Д.Д. Ромашов, а также зарубежные ученые С. Райт и Р. Фишер. С. Райт экспериментально доказал, что в маленьких популяциях частота мутантного аллеля меняется быстро и случайным образом. Его опыт был прост: в пробирки с кормом он посадил по две самки и два самца мух дрозофил, гетерозиготных по гену *A* (их генотип можно записать *Aa*). В этих искусственно созданных популяциях концентрация нормального (*A*) и мутантного (*a*) аллелей составила 50%. Спустя несколько поколений оказалось, что в некоторых популяциях все особи стали гомозиготными по мутантному аллелю (*a*), в других популяциях он был вовсе утрачен, и, наконец, часть популяций содержала как нормальный, так и мутантный аллель. Важно подчеркнуть, что, несмотря на снижение жизнеспособности мутантных особей и, следовательно, вопреки естественному отбору в некоторых популяциях, мутантный аллель полностью вытеснил нормальный. Это и есть результат случайного процесса — дрейфа генов.

Популяционные волны. В природных условиях периодические колебания численности различных организмов очень распространены. На рисунке 57 в качестве примера показаны изменения численности популяции хищника и жертвы. Видно, что в разные годы происходит резкое возрастание и падение численности животных, причем изменения численности жертвы как бы опережают численность хищника. С.С. Четвериков одним из первых обратил внимание на периодические колебания численности популяции. Колебания численности особей, составляющих популяцию, получили название *популяционных волн*.

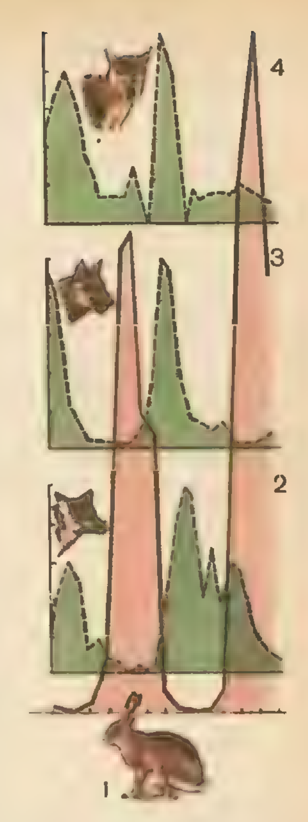


Рис. 57. Популяционные волны (динамика численности зайцев и хищников):

1 — заяц; *2* — лисица; *3* — волк; *4* — рысь

Популяционные волны — одна из частых причин дрейфа генов. Особенно сильно колебания численности выражены у насекомых, размер весенней популяции у которых обычно сокращается в тысячи раз по сравнению с осенними популяциями. Случайное выживание мутантных особей в период зимовки может увеличить концентрацию данной мутации в тысячи раз.

К каким последствиям для популяции приводит дрейф генов? Они могут быть различными. Во-первых, может возрастать генетическая однородность популяции, т.е. возрастает ее гомозиготность. Кроме того, популяции, имеющие в начале сходный генетический состав и обитающие в сходных условиях, могут в результате дрейфа различных генов утратить первоначальное сходство. Во-вторых, вследствие дрейфа генов, вопреки естественному отбору, в популяции может удерживаться аллель, снижающий жизнеспособность особей. И наконец, в-третьих, благодаря популяционным волнам может происходить быстрое и резкое возрастание концентраций редких аллелей.

Таким образом, можно сказать, что дрейф генов в популяции возникает в результате различных случайных процессов и вносит вклад в эволюционные преобразования генотипической структуры популяций.

1. Объясните, что такое дрейф генов. Приведите пример ситуации, в которой он играет важную роль, и объясните, почему его роль особенно велика в небольших популяциях.
2. Какую роль играют в эволюции дрейф и популяционные волны?

§ 47. ИЗОЛЯЦИЯ — ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ФАКТОР

Еще Ч. Дарвин указывал, что изоляция — очень важный эволюционный фактор, так как она приводит к расхождению признаков особей в пределах одного вида и предотвращает скрещивание особей разных видов между собой.

Географическая изоляция. Рассмотрим, какими способами осуществляется в природе изоляция, ведущая к расхождению признаков в популяции. Наиболее частой является *пространственная*, или *географическая, изоляция*. Сущность ее заключается в разрыве единого ареала, на котором обитал вид, на не сообщающиеся между собой части. В результате географической изоляции отдельные популяции обосабливаются, поэтому свободное скрещивание индивидуумов из разных частей ареала оказывается либо невозможным, либо крайне затрудненным.

В каждой изолированной популяции могут случайно возникать мутации. Вследствие дрейфа генов и действия естественного отбора генотипический состав изолированных популяций становится все более и более различным.

Причины, ведущие к возникновению географической изоляции, многочисленны: это образование гор или рек, перешейков или проливов, истребление популяций в определенных районах и т.д.

Вследствие невозможности скрещивания особей из различных изолированных популяций в каждой из них возникает свое направление эволюционного процесса. Это со временем приводит к значительным отличиям в их генотипической структуре и ослаблению и даже полному прекращению обмена генами между популяциями.

Экологическая изоляция. Другой путь, приводящий к расхождению популяции, — *экологическая изоляция*. Она основана на различиях в предпочтении животных или растений селиться в определенном месте и скрещиваться в строго определенное время года. Некоторые лососевые рыбы, например, нерестятся не ежегодно, а через год. Причем в одно и то же нерестилище в четный год приходит нереститься одна популяция рыб, а в нечетный год — другая. По этой причине представители разных популяций не могут скреститься и популяции оказываются изолированными.

Другой тип экологической изоляции связан с предпочтением живых организмов конкретному местообитанию. Севанская форель — пример такой изоляции. Разные популяции форели нерестятся в устьях различных ручьев и горных рек, впадающих в озеро, поэтому свободное скрещивание между ними крайне затруднено. Экологическая изоляция, таким образом, препятствует скрещиванию особей из разных популяций и служит так же, как и географическая изоляция, начальным этапом расхождения популяций.

Биологические механизмы, препятствующие скрещиванию особей разных видов. Существуют сложные механизмы, препятствующие скрещиванию особей разных видов, живущих на одной территории. Особенно важное значение в осуществлении такой изоляции имеют различия в поведении животных.

Несходство в брачных песнях, ритуалах ухаживания, выделяемых запахах, предпочитаемых местах обитания — все это надежно предохраняет особей разных видов от спаривания. Многие виды, кроме того, обладают различиями в строении половых органов, что является дополнительной преградой к скрещиванию. У растений наблюдается неспособность пыльцы одних видов прорастать на рыльцах пестиков других видов. В том случае если оплодотворение все-таки происходит, то наблюдается гибель зигот по генетическим причинам. В тех случаях, когда все барьеры оказываются преодоленными и все же рождается гибридное потомство, оно часто оказывается бесплодным из-за нарушений мейоза в связи с различиями в строении и числе хромосом.

Итак, различные типы изоляции, с одной стороны, создают предпосылки к расхождению популяций и к последующему видообразованию, а с другой — способствуют сохранению генетической структуры вида.

1. Объясните, как образуются новые виды в условиях географической или экологической изоляции.
2. В чем различие географической и экологической изоляции?

○ Повторите § 44.

§ 48. ПРИСПОСОБЛЕННОСТЬ — РЕЗУЛЬТАТ ДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ ЭВОЛЮЦИИ

В результате действия естественного отбора сохраняются особи с полезными для их процветания признаками. Они обусловливают хорошую, но не абсолютную, *приспособленность* организмов к тем условиям, в которых живут.

Приспособленность к условиям среды может быть весьма совершенной, что повышает шансы организмов на выживание и оставление большего числа потомков. Например, совершенны приспособления стрижа к полету, а дятла — к жизни в лесу. Характер приспособлений к жизни в своеобразной среде различен. Стриж на лету ловит мелких насекомых: у него широкий рот и короткий клюв. Дятел добывает из-под коры личинок насекомых: у него крепкий длинный клюв и длинный язык. О приспособленности организмов к окружающей среде свидетельствует множество различных примеров.

Покровительственная окраска. Покровительственная окраска развита у видов, которые живут открыто и могут оказаться доступными для врагов. Такая окраска делает организмы менее заметными на фоне окружающей местности. Ночные бабочки днем могут погибнуть от насекомоядных птиц, но, поскольку окраска их крыльев сливается с тоном той поверхности, на которой они проводят день, многие насекомые остаются незамеченными и успешно переживают неблагоприятное для них время. У открыто гнездящихся птиц (глухарь, тетерев, рябчик и др.) самка, сидящая на гне-



Рис. 21. Схема образования и-РНК по матрице ДНК

и-РНК аденин, если стоит гуанин — включает цитозин, если аденин — то урацил (в состав РНК не входит тимин).

По длине каждая из молекул и-РНК в сотни раз короче ДНК. Информационная РНК — копия не всей молекулы ДНК, а только части ее, одного гена или группы рядом лежащих генов, несущих информацию о структуре белков, необходимых для выполнения одной функции.

В начале каждой группы генов находится своего рода посадочная площадка для полимеразы. Только присоединившись к ней, полимераза способна начать синтез и-РНК. В конце группы генов фермент встречает сигнал (в виде определенной последовательности нуклеотидов), означающий конец переписывания. Готовая и-РНК отходит от ДНК, покидает ядро и направляется к месту синтеза белков — рибосоме, расположенной в цитоплазме клетки.

В клетке генетическая информация передается только от ДНК к белку:

ДНК→и-РНК→белок.

Генетический код и его свойства. Генетическая информация, содержащаяся в ДНК и в и-РНК, заключена в последовательности расположения нуклеотидов в молекулах. Каким же образом и-РНК кодирует (определяет) первичную структуру белков, т. е. порядок расположения аминокислот в них? Суть кода заключается в том, что последовательность расположения нуклеотидов в и-РНК определяет последовательность расположения аминокислот в белках. Этот *код* называют *генетическим*, его расшифровка — одно из великих достижений науки. Носителем генетической информации является ДНК, но так как непосредственное участие в синтезе белка принимает и-РНК — копия одной из нитей ДНК, то генетический код записан на «языке» РНК.

Код т р и п л е т е н. В состав РНК входят 4 нуклеотида: **А, Г, Ц, У.** Если бы мы пытались обозначить одну аминокислоту одним нуклеотидом, то можно было бы зашифровать лишь 4 аминокислоты, тогда как их 20 и все они используются в синтезе белков. Двухбуквенный код позволил бы зашифровать 16 аминокислот (из 4 нуклеотидов можно составить 16 различных комбинаций, в каждой из которых имеется 2 нуклеотида).

В природе же существует трехбуквенный, или триплетный, код. Это означает, что каждая из 20 аминокислот зашифрована последовательностью 3 нуклеотидов, т. е. триплетом, который получил название *кодон.* Из 4 нуклеотидов можно создать 64 различные комбинации, по 3 нуклеотида в каждой ($4^3=64$). Этого с избытком хватает

для кодирования 20 аминокислот и, казалось бы, 44 триплета являются лишними. Однако это не так. Почти каждая аминокислота шифруется более чем одним кодоном (от 2 до 6). Это видно из таблицы генетического кода.

Таблица генетического кода

Аминокислота	Кодирующие триплеты — кодоны					
Аланин	ГЦУ	ГЦЦ	ГЦА	ГЦГ		
Аргинин	ЦГУ	ЦГЦ	ЦГА	ЦГГ	АГА	АГГ
Аспарагин	ААУ	ААЦ				
Аспарагиновая кислота	ГАУ	ГАЦ				
Валин	ГУУ	ГУЦ	ГУА	ГУГ		
Гистидин	ЦАУ	ЦАЦ				
Глицин	ГГУ	ГГЦ	ГГА	ГГГ		
Глутамин			ЦАА	ЦАГ		
Глутаминовая кислота			ГАА	ГАГ		
Изолейцин	АУУ	АУЦ	АУА			
Лейцин	ЦУУ	ЦУЦ	ЦУА	ЦУГ	УУА	УУГ
Лизин			ААА	ААГ		
Метионин				АУГ		
Пролин	ЦЦУ	ЦЦЦ	ЦЦА	ЦЦГ		
Серин	УЦУ	УЦЦ	УЦА	УЦГ	АГУ	АГЦ
Тирозин	УАУ	УАЦ				
Треонин	АЦУ	АЦЦ	АЦА	АЦГ		
Триптофан				УГГ		
Фенилаланин	УУУ	УУЦ				
Цистеин	УГУ	УГЦ				
Знаки препинания			УГА	УАГ	УАА	

К о д о д н о з н а ч е н. Каждый триплет шифрует только одну аминокислоту. У всех здоровых людей в гене, несущем информацию об одной из цепей гемоглобина, триплет **ГАА** или **ГАГ,** стоящий на шестом месте, кодирует глутаминовую кислоту. У больных серповидноклеточной анемией второй нуклеотид в этом триплете заменен на **У.** Как видно из таблицы генетического кода (см. Приложение, табл. 2), триплеты **ГУА** или **ГУГ,** которые в этом случае образуются, кодируют аминокислоту валин. К чему приводит такая замена, вы знаете из § 13.

М е ж д у г е н а м и и м е ю т с я з н а к и п р е п и н а н и я. Каждый ген кодирует одну белковую цепочку. Так как в ряде случаев и-РНК является копией нескольких генов и по ней последовательно создаются разные цепи, то они должны быть отделены друг от друга. Поэтому в генетическом коде существуют три специальные триплета **(УАА, УАГ, УГА),** каждый из которых обозначает прекращение синтеза одной белковой цепи. Таким образом эти

Кроме естественного отбора и наследственной изменчивости, в поддержании и формировании приспособлений существенную роль играют изолирующие механизмы, препятствующие широкому проникновению генетического материала из других видов.

Следует помнить, однако, что все приспособления носят *относительный характер,* т.е. они помогают организму выживать лишь в данных конкретных условиях. При изменении же этих условий приспособление может перестать быть полезным.

- 1. Объясните, каким образом та или иная адаптация сохраняется отбором; какую роль играют в этом гены, изменчивость; естественный отбор.
- 2. На примерах животных и растений вашего края объясните, как возникает приспособленность.
- 3. Многие мухи похожи на пчел и жужжат как пчелы. Какие можно выдвинуть гипотезы для объяснения этого? Как их можно проверить?
- 4. Как возникла приспособленность к раннему цветению у раннецветущих растений?
- 5. Используя знания из курса зоологии, назовите черты приспособленности к среде обитания у рыб и птиц.

○ Повторите § 48.

§ 49. ВИДООБРАЗОВАНИЕ

Видообразование — это сложнейший эволюционный процесс возникновения нового вида. Вновь возникший вид прерывает связи с родительским видом и превращается в обособленную совокупность организмов. Скрещивание особей нового и старого видов становится невозможным.

Механизм видообразования. Представление о механизмах видообразования впервые было высказано Ч. Дарвином. Он исходил из того, что внутривидовая борьба за существование и вытекающий из нее естественный отбор служат главной причиной расхождения популяций, заставляют виды максимально широко и разнообразно использовать природные условия. По мнению Ч. Дарвина, в пределах одного вида часто возникают популяции, которые приспосабливаются к разным условиям обитания: влажным или сухим, равнинным или горным местообитаниям; потреблению определенной пищи и т.д. Именно благодаря этому виды с наибольшей полнотой используют ресурсы среды своего обитания. Следовательно, естественный отбор благоприятствует все более полному использованию разнообразия условий существования. Это вызывает расхождение популяции в пределах вида по морфологическим, физиологическим и биохимическим признакам.

Географическая и экологическая изоляции, как уже отмечалось, — эволюционные механизмы, резко усиливающие процесс

расхождения популяций вследствие ослабления и даже полного прекращения обмена генами между ними.

Рассмотрим случай, когда видовой ареал оказывается расчлененным на две части, например, в результате возникновения пролива, отделившего полуостров от материка. Следствием такого расчленения ареала является разбивка вида на две нескрещивающиеся друг с другом популяции. Единый генофонд вида в результате оказывается разделенным на две изолированные части. (*Генофондом* называют *совокупность всех генов, содержащихся в популяции или виде.*)

Изначальное различие между генофондами обособившихся частей вида в ходе дальнейшей эволюции неизбежно усиливается. В качестве важной причины этого выступает мутационный процесс. В одной из двух разделившихся популяций возникают одни мутации, а в другой — иные. Поскольку условия обитания в разных «изолятах» могут существенно отличаться, то и естественный отбор также будет действовать в разных направлениях. Дрейф генов также вносит важный вклад в дальнейшее расхождение генофондов обособившихся частей вида. Процесс расхождения популяции, продолжаясь длительное время, приводит к глубоким изменениям генофондов популяций и многих свойств организмов: размеров, окраски, плодовитости, предпочтения определенных мест обитания и т.д. Возникают новые признаки и адаптации, появляются отличия в строении и даже количестве хромосом.

Вследствие этого особи прежде родственных популяций утрачивают способность скрещиваться между собой. Возникают новые виды. В результате видообразования появляется вид или несколько видов, которые никогда прежде не существовали. Они обладают только им присущими свойствами.

Выделяют два основных способа видообразования: *географическое* и *экологическое.* Различие между ними состоит в том, какой тип изоляции послужил исходным для расхождения популяций. Сущность процесса видообразования одинакова для обоих способов. Она, как уже было отмечено, заключается в коренной перестройке свойств родительского вида и в формировании свойств нового вида.

Бóльшая часть вновь возникающих видов бракуется. Только наиболее успешно осваивающие новые экологические условия, т.е. наиболее приспособленные виды, сохраняются и идут по пути дальнейшего эволюционного развития.

- 1. Какую роль в образовании новых видов играют *изоляция, дрейф генов, популяционные волны?*
- 2. Опишите два основных способа видообразования.
- 3. Происходит ли процесс видообразования в наше время и можно ли его наблюдать?
- 4. Объясните, как, по вашему мнению, могли образоваться от одного родоначального вида в природе два вида зайцев — беляк и русак.
- 5. Может ли, по вашему мнению, деятельность человека повлиять на образование новых видов? Ответ обоснуйтв.

§ 50. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Прогресс и регресс в эволюции. Эволюционный процесс в целом непрерывно идет в направлении максимального приспособления живых организмов к условиям окружающей среды. Смена условий часто приводит к замене одних приспособлений на другие. Однако это же относится к приспособлениям широкого характера, дающим организмам преимущества в различных условиях среды. Таково, например, значение легких как универсального органа газообмена для наземных позвоночных или цветка как совершенного органа размножения у покрытосеменных растений. Таким образом, биологический прогресс может осуществляться вследствие как частных, так и общих приспособлений организмов. Под *биологическим прогрессом* следует понимать *возрастание приспособленности организмов в окружающей среде, ведущее к увеличению численности и более широкому распространению вида.*

Эволюционные изменения, происходящие в некоторых видах и более крупных таксонах (семействах, отрядах) не всегда могут быть признаны прогрессивными. В таких случаях говорят о биологическом регрессе. *Биологический регресс — это снижение уровня приспособленности к условиям обитания, уменьшение численности вида и площади видового ареала.*

Каковы же пути достижения биологического прогресса?

Ароморфоз. Вопрос о возможных путях достижения биологического прогресса разработал А. Н. Северцов, крупный советский ученый-эволюционист. Один из главных таких путей, по А. Н. Северцову, — *морфофизиологический прогресс,* или *ароморфоз,* т.е. возникновение в ходе эволюции признаков, которые существенно повышают уровень организации живых организмов. Ароморфозы дают большие преимущества в борьбе за существование, открывают возможности освоения новой, прежде недоступной среды обитания.

В эволюции млекопитающих можно выделить несколько крупных ароморфозов: возникновение шерстного покрова, живорождение, вскармливание детенышей молоком, приобретение постоянной температуры тела, прогрессивное развитие легких, кровеносной системы и головного мозга. Высокий общий уровень организации млекопитающих, достигнутый благодаря перечисленным ароморфным изменениям, позволил им освоить все возможные среды обитания и привел в итоге к появлению высших приматов и человека.

Формирование ароморфоза — длительный процесс, происходящий на основе наследственной изменчивости и естественного отбора. Морфофизиологический процесс — магистральный путь эволюции органического мира. В развитии каждой крупной таксономической группы можно обнаружить ароморфозы, о чем вы узнаете из последующего материала.

Идиоадаптация. Кроме такого крупного преобразования, как ароморфоз, в ходе эволюции отдельных групп возникает большое



АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ СЕВЕРЦОВ (1866—1936) — отечественный эволюционист. Автор исследований по сравнительной анатомии позвоночных. Создал теорию морфофизиологического и биологического прогресса и регресса.

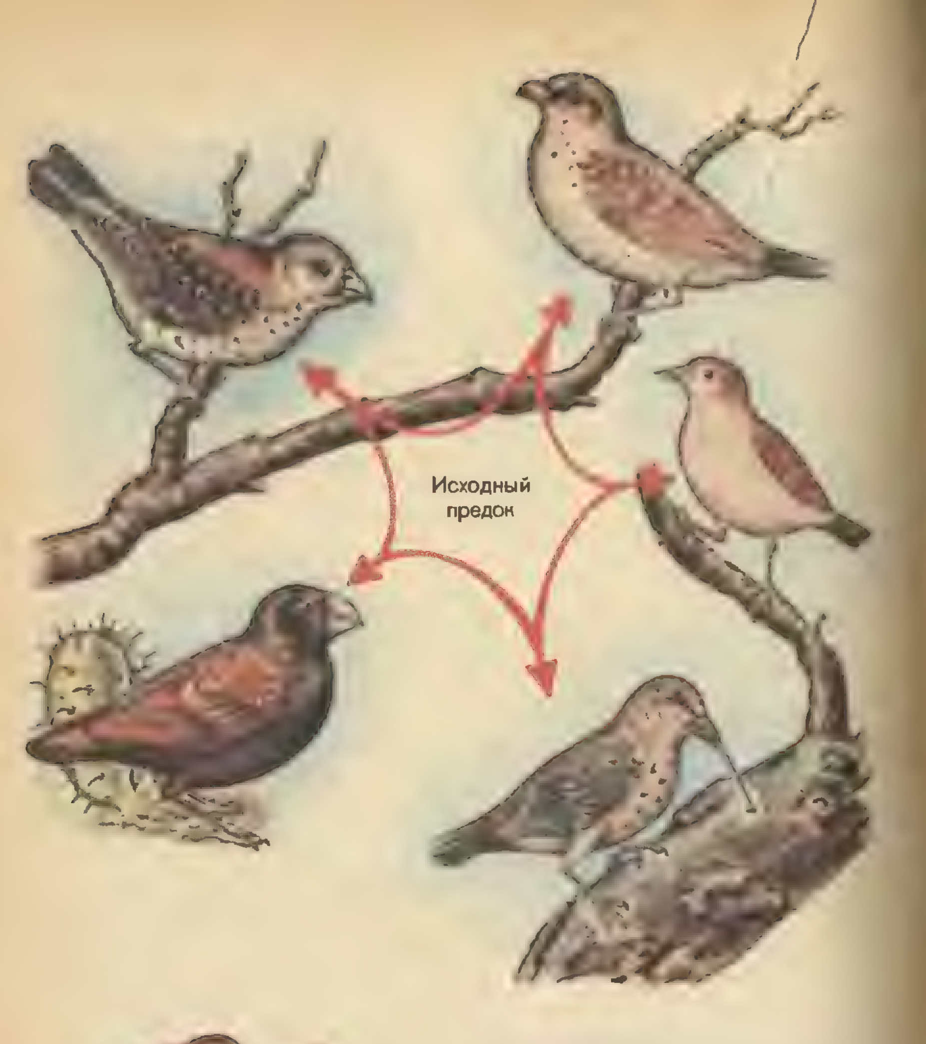
количество мелких приспособлений к определенным условиям среды. Такие приспособления А. Н. Северцов назвал *идиоадаптациями.*

Идиоадаптации — это приспособления живого мира к окружающей среде, открывающие перед организмами возможность прогрессивного развития без принципиальной перестройки их биологической организации. Примером идиоадаптации может служить описанное Ч. Дарвином разнообразие видов вьюрковых птиц (рис. 61). Разные виды вьюрков, имея сходный уровень организации, смогли, однако, приобрести свойства, позволившие им занять совершенно разные места в природе. Одни виды вьюрков освоили питание плодами растений, другие семенами, третьи стали насекомоядными.

Общая дегенерация. В ряде эволюционных ситуаций, когда окружающая среда довольно стабильна, наблюдается явление *общей дегенерации,* т.е. резкого упрощения организации, связанного с исчезновением целых систем органов и функций. Очень часто общая дегенерация наблюдается при переходе видов к паразитическому образу существования. У крабов известен паразит — саккулина, имеющая вид мешка, набитого половыми продуктами и обладающая как бы корневой системой, пронизывающей тело хозяина. Эволюция этого организма такова. Родоначальная форма принадлежала к усоногим ракам и прикреплялась не к подводным камням, как большинство последних, а к крабам и постепенно перешла к паразитическому способу существования, утратив во взрослом состоянии почти все органы (рис. 62).

Несмотря на то что общая дегенерация приводит к значительному упрощению организации, виды, идущие по этому пути, могут увеличивать свою численность и ареал, т.е. двигаться по пути биологического прогресса.

Соотношение направлений эволюции. Пути эволюции органического мира либо сочетаются друг с другом, либо сменяют друг друга. Причем ароморфозы происходят значительно реже идиоадаптаций, но именно ароморфозы определяют новые этапы в раз-



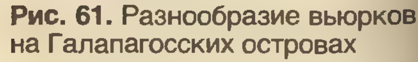


Рис. 61. Разнообразие вьюрков на Галапагосских островах

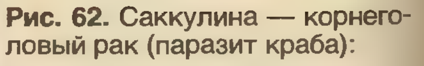


Рис. 62. Саккулина — корнеголовый рак (паразит краба):

1 — саккулина, прикрепленная к нижней стороне краба; 2 — ев корневидные отростки внутри тела краба

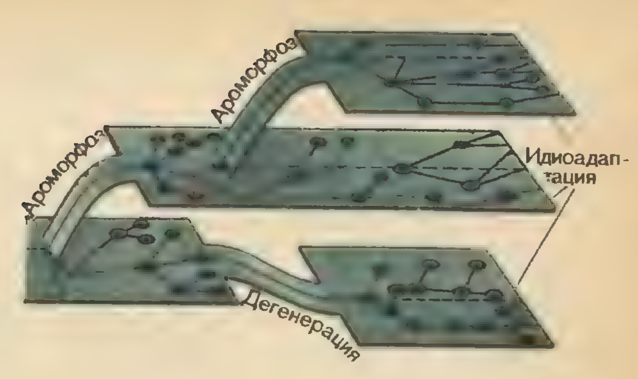


Рис. 63. Схема соотношений между ароморфозом, идиоадаптацией и дегенерацией

витии органического мира. Возникнув путем ароморфоза, новые, высшие по организации группы организмов занимают другую среду обитания. Далее эволюция идет по пути идиоадаптации, иногда и дегенерации, которые обеспечивают организмам обживание новой для них среды обитания (рис. 63).

Итак, перечислим общие черты эволюционного процесса. Прежде всего это возникновение приспособленности организмов, т.е. их соответствие условиям обитания и способность меняться по мере изменения этих условий. Естественный отбор наследственных изменений в природных популяциях — важнейшая причина приспособленности.

Другой важнейшей характеристикой эволюционного процесса является видообразование, т.е. постоянное возникновение новых видов. За время эволюции на Земле существовали десятки, а возможно, сотни миллионов видов живых организмов.

И, наконец, третье неотъемлемое свойство эволюционного процесса — постоянное усложнение жизни от примитивных доклеточных форм вплоть до человека.

? 1. Объясните термины: *биологический прогресс, биологический регресс, ароморфоз, идиоадаптация, дегенерация.*

▶ 2. Можно ли считать тождественными понятия *биологический регресс* и *дегенерация?* Ответ обоснуйтв.

▶ 3. В чем заключается эволюционное значение ароморфоза и идиоадаптации?

Глава XII. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

§ 51. РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ВОЗНИКНОВЕНИИ ЖИЗНИ

Теория возникновения жизни на Земле. С глубокой древности и до нашего времени было высказано бессчетное количество гипотез о происхождении жизни на Земле. Все их многообразие сводится к двум взаимоисключающим точкам зрения.

Сторонники теории *биогенеза* (от греч. «био» — жизнь и «генезис» — происхождение) полагали, что все живое происходит только от живого. Их противники защищали теорию *абиогенеза* («а» — лат. отрицательная приставка); они считали возможным происхождение живого из неживого.

Многие ученые средневековья допускали возможность самозарождения жизни. По их мнению, рыбы могли зарождаться из ила, черви из почвы, мыши из грязи, мухи из мяса и т.д.

Против теории самозарождения в XVII в. выступил флорентийский врач Франческо Реди. Положив мясо в закрытый горшок, Ф. Реди показал, что в гнилом мясе личинки мясной мухи не самозарождаются. Сторонники теории самозарождения не сдавались, они утверждали, что самозарождение личинок не произошло по той лишь причине, что в закрытый горшок не поступал воздух. Тогда Ф. Реди поместил кусочки мяса в несколько глубоких сосудов. Часть из них он оставил открытыми, а часть прикрыл кисеей. Через некоторое время в открытых сосудах мясо кишело личинками мух, тогда как в сосудах, прикрытых кисеей, в гнилом мясе никаких личинок не было.

В XVIII в. теорию самозарождения жизни продолжал защищать немецкий математик и философ Лейбниц. Он и его сторонники утверждали, что в живых организмах существует особая «жизненная сила». По мнению виталистов (от лат. «вита» — жизнь), «жизненная сила» присутствует всюду. Достаточно лишь вдохнуть ее, и неживое станет живым.

Микроскоп открыл людям микромир. Наблюдения показывали, что в плотно закрытой колбе с мясным бульоном или сенным настоем через некоторое время обнаруживаются микроорганизмы. Но стоило прокипятить мясной бульон в течение часа и запаять горлышко, как в запаянной колбе ничего не возникало. Виталисты выдвинули предположение, что длительное кипячение убивает «жизненную силу», которая не может проникнуть в запаянную колбу.

Споры между сторонниками абиогенеза и биогенеза продолжались и в XIX в. Даже Ламарк в 1809 г. писал о возможности самозарождения грибков.



ЛУИ ПАСТЕР (1822—1895) — французский микробиолог и химик. Основоположник микробиологии. Открыл анаэробные бактерии. Показал энергетическое значение брожения. Исследовал проблему возможности зарождения жизни. Предложил прививки против бешенства, сибирской язвы, а также пастеризацию (нагревание до 70°С) как способ уничтожения живых бактерий (но не их спор) для сохранения продуктов.

Эксперимент Пастера. С появлением книги Дарвина «Происхождение видов» вновь встал вопрос о том, как же все-таки возникла жизнь на Земле. Французская Академия наук в 1859 г. назначила специальную премию за попытку осветить по-новому вопрос о самопроизвольном зарождении. Эту премию в 1862 г. получил знаменитый французский ученый Луи Пастер.

Пастер провел эксперимент, соперничавший по простоте со знаменитым опытом Реди. Он кипятил в колбе различные питательные среды, в которых могли развиваться микроорганизмы. При длительном кипячении в колбе погибали не только микроорганизмы, но и их споры. Помня об утверждении виталистов, что мифическая «жизненная сила» не может проникнуть в запаянную колбу, Пастер присоединил к ней S-образную трубку со свободным концом (рис. 64). Споры микроорганизмов оседали на поверхности тонкой изогнутой трубки и не могли проникнуть в питательную среду. Хорошо прокипяченная питательная среда оставалась стерильной, в ней не наблюдалось самозарождения микроорганизмов, хотя доступ воздуха (а с ним и пресловутой «жизненной силы») был обеспечен.

Пастер своими опытами доказал невозможность самопроизвольного зарождения жизни. Представлениям о «жизненной силе» — витализму был нанесен сокрушительный удар.

Абиогенный синтез органических веществ. Эксперимент Пастера продемонстрировал невозможность самопроизвольного зарождения жизни в настоящее время. Вопрос о возникновении жизни на нашей планете долгое время еще оставался открытым.

В 1924 г. советский биохимик академик А. И. Опарин высказал предположение, что при мощных электрических разрядах в атмосфере Земли, которая 4—4,5 млрд. лет назад состояла из аммиака, метана, углекислого газа и паров воды, могли возникнуть простейшие органические соединения, необходимые для возникновения жизни. Предсказание А. И. Опарина оправдалось. В 1955 г. американский исследователь С. Миллер, пропуская электрические разряды напряжением до 60 000 В через смесь CH_4, NH_3, H_2 и паров

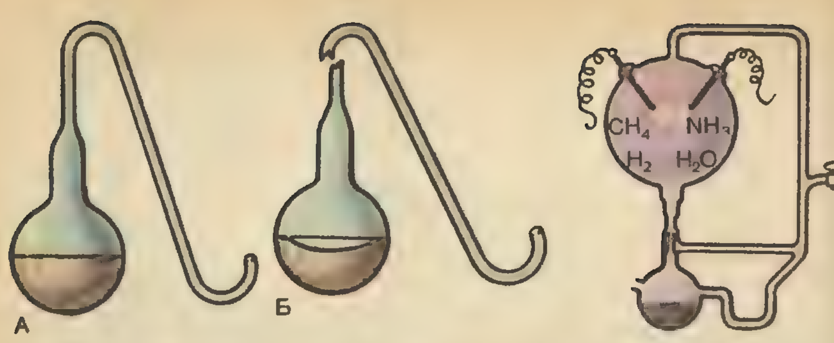


Рис. 64. Схема опыта Л. Пастера в колбах с S-образным горлом:

А — в колбе с S-образным горлом питательная среда после кипячения долго остается стерильной; *Б* — если удалить S-образное горло, то в среде быстро развиваются микроорганизмы

Рис. 65. Схема прибора С. Миллера, в котором синтезированы аминокислоты

H_2O под давлением в несколько паскалей при температуре +80°С, получил простейшие жирные кислоты, мочевину, уксусную и муравьиную кислоты и несколько аминокислот, в том числе глицин и аланин (рис. 65). Как мы уже знаем, аминокислоты — это те «кирпичики», из которых построены молекулы белков. Поэтому экспериментальное доказательство возможности образования аминокислот из неорганических соединений — чрезвычайно важное указание на то, что первым шагом на пути возникновения жизни на Земле был абиогенный (небиологический) синтез органических веществ. (См. передний форзац.)

? 1. Назовите известные вам гипотезы о возникновении жизни на Земле. Раскройте их сущность.

? 2. В чем заключается сущность гипотезы абиогенного синтеза органических веществ?

§ 52. СОВРЕМЕННЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЖИЗНИ

Гипотеза А. И. Опарина. Наиболее существенная черта гипотезы А. И. Опарина — постепенное усложнение химической структуры и морфологического облика предшественников жизни (предбионтов) на пути к живым организмам.

Большое количество данных говорит о том, что средой возникновения жизни могли быть прибрежные районы морей и океанов. Здесь, на стыке моря, суши и воздуха, создавались благоприятные условия для образования сложных органических соединений. Например, растворы некоторых органических веществ (сахаров,

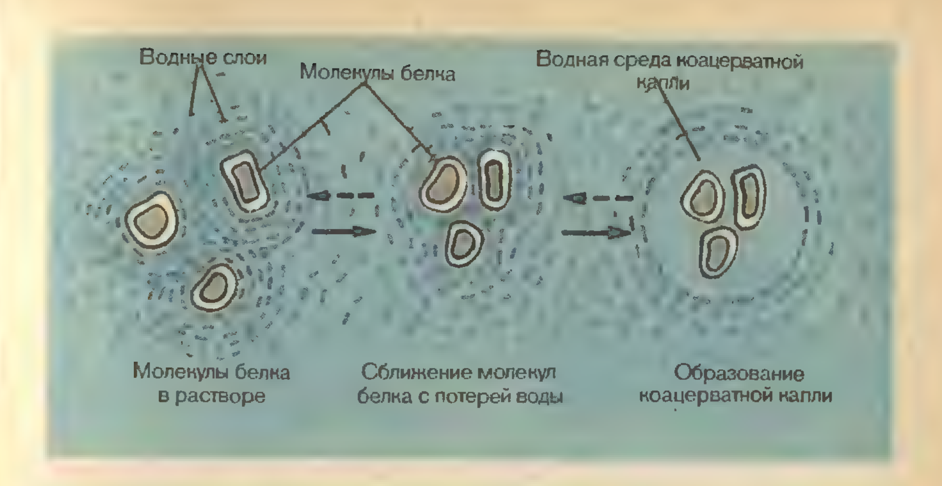


Рис. 66. Образование коацерватной капли

спиртов) обладают большой устойчивостью и могут существовать неограниченно долгое время. В концентрированных растворах белков, нуклеиновых кислот могут образовываться сгустки подобно водным растворам желатина. Такие сгустки называют *коацерватными каплями* или *коацерватами* (рис. 66). Коацерваты способны адсорбировать различные вещества. Из раствора в них поступают химические соединения, которые преобразуются в результате реакций, проходящих в коацерватных каплях, и выделяются в окружающую среду.

Коацерваты — это еще не живые существа. Они проявляют лишь внешнее сходство с такими признаками живых организмов, как рост и обмен веществ с окружающей средой. Поэтому возникновение коацерватов рассматривают как стадию развития преджизни.

Коацерваты претерпели очень длительный отбор на устойчивость структуры. Устойчивость была достигнута вследствии создания ферментов, контролирующих синтез тех или иных соединений. Наиболее важным этапом в происхождении жизни было возникновение механизма воспроизведения себе подобных и наследования свойств предыдущих поколений. Это стало возможным благодаря образованию сложных комплексов нуклеиновых кислот и белков. Нуклеиновые кислоты, способные к самовоспроизведению, стали контролировать синтез белков, определяя в них порядок аминокислот. А белки-ферменты осуществляли процесс создания новых копий нуклеиновых кислот. Так возникло главное свойство, характерное для жизни, — *способность к воспроизведению подобных себе молекул.*

Живые существа представляют собой так называемые *открытые системы,* т.е. *системы, в которые энергия поступает извне.* Без поступления энергии жизнь существовать не может. Как вы

знаете, по способам потребления энергии (см. §10) организмы делятся на две большие группы: автотрофные и гетеротрофные. Автотрофные организмы прямо используют солнечную энергию в процессе фотосинтеза (зеленые растения), гетеротрофные используют энергию, которая выделяется при распаде органических веществ.

Очевидно, первые организмы были гетеротрофами, получающими энергию путем бескислородного расщепления органических соединений. На заре жизни в атмосфере Земли не было свободного кислорода. Возникновение атмосферы современного химического состава теснейшим образом связано с развитием жизни. Появление организмов, способных к фотосинтезу, привело к выделению в атмосферу и воду кислорода. В его присутствии стало возможным кислородное расщепление органических веществ, при котором получается во много раз больше энергии, чем при бескислородном.

С момента возникновения жизни геологическая и геохимическая история Земли неотделима от биологических процессов. Их изучением занимается специальная наука — *биогеохимия,* созданная в основном трудами нашего выдающегося соотечественника академика В. И. Вернадского.

Возможно ли возникновение жизни на Земле сейчас? Из того, что мы знаем о происхождении жизни на Земле, ясно, что процесс возникновения живых организмов из простых органических соединений был крайне длительным. Чтобы на Земле зародилась жизнь, понадобился длившийся много миллионов лет эволюционный процесс, в течение которого сложные молекулярные структуры, прежде всего нуклеиновые кислоты и белки, прошли отбор на устойчивость, на способность к воспроизведению себе подобных.

Если сейчас на Земле где-нибудь в районах интенсивной вулканической деятельности и могут возникнуть достаточно сложные органические соединения, то вероятность сколько-нибудь продолжительного существования этих соединений ничтожна. Они немедленно будут окислены или использованы гетеротрофными организмами. Это прекрасно понимал еще Ч. Дарвин: в 1871 г. он писал: «Но если бы сейчас... в каком-либо теплом водоеме, содержащем все необходимые соли аммония и фосфора и доступном воздействию света, тепла, электричества и т.п., химически образовался белок, способный к дальнейшим, все более сложным превращениям, то это вещество немедленно было бы разрушено или поглощено, что было невозможно в период до возникновения живых существ».

Жизнь возникла на земле абиогенным путем. В настоящее время живое происходит только от живого (биогенное происхождение). Возможность повторного возникновения жизни на Земле исключена.

1. Назовите основные этапы, из которых мог бы слагаться процесс возникновения жизни на Земле.
2. Как, на ваш взгляд, повлияло на дальнейшую эволюцию истощение запасов питательных веществ в водах первичного океана?

3. Раскройте эволюционное значение фотосинтеза.
4. Как вы думаете, почему человек пытается ответить на вопрос о возникновении жизни на Земле?
5. Почему повторное возникновение жизни на Земле невозможно?
6. Дайте определение понятия *жизнь*.

Глава XIII. РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Возраст Земли определяется в 4,5—7 млрд. лет. Ученые разделяют историю Земли на длительные промежутки времени — *эры.* Эры подразделяют на *периоды,* периоды — на *эпохи,* эпохи — на *века.*

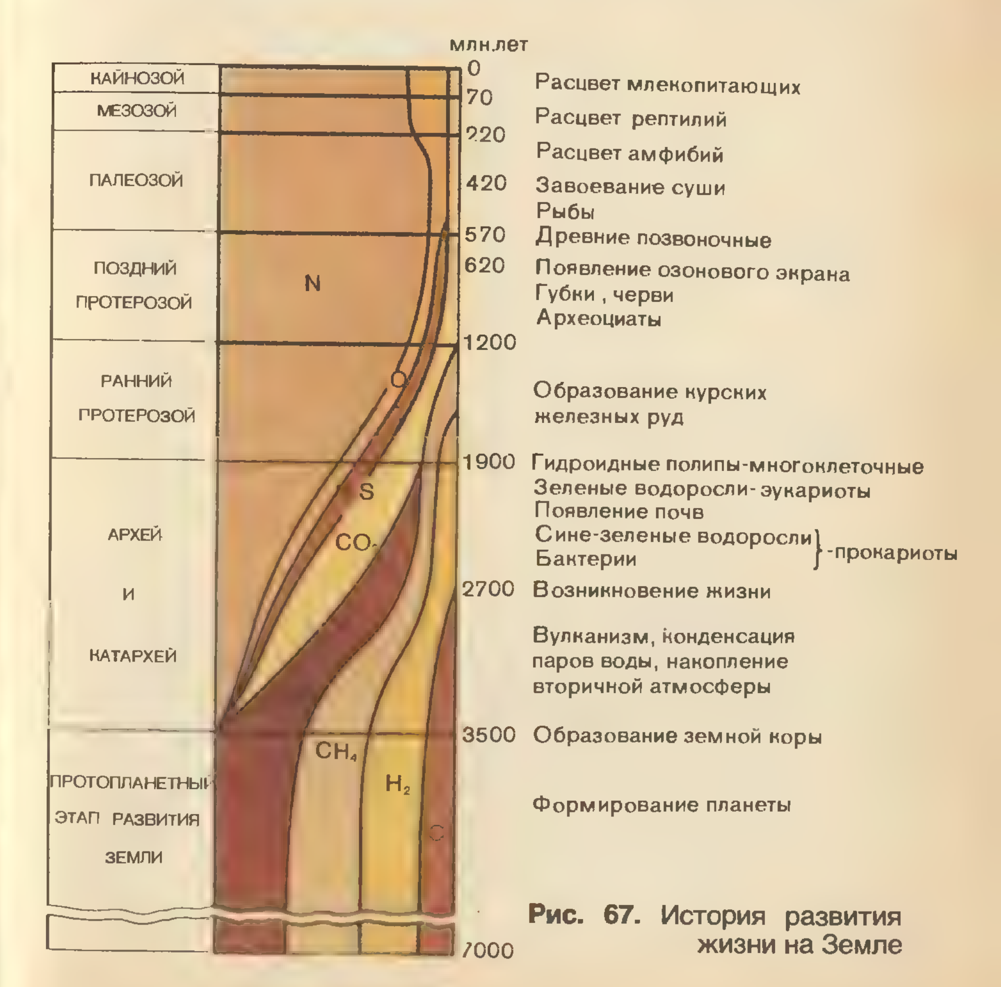


Рис. 67. История развития жизни на Земле

Названия периодов либо происходят от того географического района, где впервые были изучены отложения данного времени (девон — от графства Девон в Англии, пермь — от города Пермь, юра — от гор Юра во Франции), либо отражают преобладание отложений определенного типа (карбон, или каменно-угольный период, характеризовался образованием каменного угля, мел — массовым образованием слоев писчего мела).

Разделение на эры и периоды не случайно. Окончание одной эры и начало другой знаменовалось существенными преобразованиями лика Земли, изменением соотношения суши и моря, интенсивными горообразовательными процессами.

Названия эр греческого происхождения: *катархей* — ниже древнейшего, *архей* — древнейший, *протерозой* — первичная жизнь, *палеозой* — древняя жизнь, *мезозой* — средняя жизнь, *кайнозой* — новая жизнь (рис. 67).

§ 53. РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ В АРХЕЕ И ПРОТЕРОЗОЕ

Жизнь возникла на границе катархея и архея. В течение архея и протерозоя происходила длительная эволюция жизни. К началу палеозоя химический состав атмосферы Земли мало отличался от современного.

Архей. В осадочных породах древностью в 3,5 млрд. лет обнаружены биополимеры. К тому же времени относится возникновение первых *прокариот* — бактерий и сине-зеленых. В отложениях архея найдены также остатки нитчатых водорослей.

Бактерии и сине-зеленые жили, вероятно, не только в морях, но и стали осваивать сушу. Неорганические вещества суши и атмосферы превращаются в органические. Органические соединения отмирающих организмов попадают в поверхностные слои суши и используются другими организмами. Появляются гетеротрофные организмы не только в море, но и на суше. Образуется *почва — продукт взаимодействия живых организмов с неорганическими соединениями верхнего слоя земной коры.* В атмосфере снижается содержание метана, аммиака, воды, начинается накопление CO_2 и O_2.

Организмы в архее использовали огромные запасы соединений углерода. Прокариоты, выделяя большое количество кислорода, насытили им воду. Этим была создана предпосылка для появления гетеротрофных организмов — животных. Деятельность водорослей увеличила количество кислорода в атмосфере. Это стало первой предпосылкой для выхода живых организмов из морей на сушу.

Протерозой. На грани архейской и следующей за ней протерозойской эры произошел первый великий период горообразования. Он привел к значительному перераспределению площадей суши и моря на Земле и вымиранию многих групп организмов.

Протерозой — огромный по продолжительности этап исторического развития Земли. В течение этой эры бактерии и водоросли достигают исключительного расцвета. Чрезвычайно интенсивный процесс осадков шел с участием этих организмов. Так, осадочное железо — продукт действия железобактерий. К протерозою относится образование крупнейших залежей железных руд (курские, криворожские) органогенного происхождения.

Господство прокариот — сине-зеленых — в протерозое сменяется расцветом *эукариот* — зеленых водорослей. Наряду с плавающими в толще воды растениями, появляются нитчатые и многоклеточные формы, прикрепленные ко дну.

Около 1350 млн. лет назад отмечены представители низших грибов. Первые многоклеточные животные возникли 900—1000 млн. лет назад. Древние многоклеточные животные и растения жили в придонных слоях океана.

Жизнь в придонном слое потребовала расчленения тела на части, одни из которых служат для прикрепления к твердому субстрату, другие части осуществляют фотосинтез. У одних форм это достигалось за счет развития одной гигантской многоядерной клетки. Однако более перспективным оказалось приобретение многоклеточности, т.е. расчленения многоклеточного тела на части, несущие различные функции. Возникновение многоклеточности — важный ароморфоз в эволюции жизни.



Рис. 68. Флора и фауна позднего протерозоя:

1 — многоклеточная водоросль; *2* — губка; *3* — медузы; *4* — ползающий кольчатый червь; *5* — сидячий кольчатый червь; *6* — восьмилучевой коралл; *7* — примитивные членистоногие неясного систематического положения

Большинство животных позднего протерозоя было представлено *многоклеточными* (рис. 68). Конец протерозоя иногда называют «веком медуз» — весьма распространенных в это время представителей кишечнополостных. Возникают кольчатые черви, от которых произошли моллюски и членистоногие.

Таким образом, в течение протерозоя господство предъядерных форм сменилось господством ядерных, на смену одноклеточным и колониальным формам пришли многоклеточные.

К концу протерозоя уже существовали представители большинства типов животного царства.

Итак, жизнь в протерозое прошла этапы эволюции от прокариот к эукариотам, от одноклеточности к многоклеточности.

Жизнь стала геологическим фактором. Живые организмы меняли форму и состав земной коры, формировали ее верхние слои — биосферу. В результате фотосинтетической деятельности неузнаваемо изменился состав атмосферы. Фотосинтезирующие растения поглощали из атмосферы углекислый газ, вместе с тем в атмосфере резко увеличилось количество кислорода. Часть кислорода, выделяемого растениями, расходовалась на окислительные процессы, происходящие на поверхности Земли.

Накопление кислорода в атмосфере и насыщение кислородом вод благоприятствовало развитию высших гетеротрофных организмов — животных, которые с помощью кислорода использовали энергию, которая освобождалась при расщеплении органических соединений. Все эти коренные изменения жизни на Земле стали основой для дальнейшего развития жизни в последующие эпохи.

1. Какие крупнейшие ароморфозы произошли в архее и протерозое? Какое значение для развития жизни на Земле они имели?
2. Как деятельность живых организмов повлияла на изменение геологических оболочек Земли?
3. Какое значение для развития жизни на Земле имело возникновение фотосинтеза?

○ Повторите § 50.

§ 54. РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ В РАННЕМ ПАЛЕОЗОЕ (КЕМБРИЙ, ОРДОВИК, СИЛУР)

На грани протерозоя и палеозоя, около 600 млн. лет назад, происходил очередной период интенсивного горообразования. Вновь перераспределяются площади суши и моря на Земле, вновь вымирают многие виды животных и растений. Накопленные в течение протерозоя мощные слои осадков в результате сжатий, поднятий дна моря превратились в горные породы. В них остатки ранних бесскелетных организмов сохранились плохо.

К началу палеозоя клетки эукариот приобретают способность к образованию органического или минерального скелета. Он найден у ископаемых. Вот почему начиная с первого периода палеозоя —

кембрия — палеонтологическая летопись достаточно полна и относительно непрерывна.

Кембрий. Климат кембрия был умеренным, материки — низменными. В кембрии животные и растения населяли в основном моря. На суше по-прежнему жили бактерии и сине-зеленые. Позднее возникли *высшие растения,* у которых тело расчленено на корень и стебель. Выход высших растений на сушу обусловил возникновение проводящей ткани, передающей питательные вещества и влагу от корней к надземным частям растений. Так появились первые сосудистые растения, имеющие проводящую ткань, — хвощи и плауны.

В кембрии существовали представители большинства типов животных (рис. 69). Весьма разнообразны были *губки.* Наряду с сидячими придонными животными развиваются разнообразные подвижные организмы: двустворчатые, брюхоногие и головоногие моллюски, кольчатые черви, от которых в кембрии уже произошли членистоногие. Древнейшие *членистоногие* — трилобиты — по форме тела напоминали современных ракообразных — мокриц.

Ордовик. В ордовике значительно увеличивается площадь морей. В морях ордовика весьма разнообразны *зеленые, бурые* и *красные водоросли.* Идет интенсивный процесс образования рифов кораллами. Значительное разнообразие наблюдается среди головоногих и брюхоногих моллюсков. В ордовике впервые появляются *хордовые.* Уменьшается разнообразие губок и некоторых двустворчатых моллюсков.

Силур. На смену теплым мелководным морям ордовика в результате интенсивных горообразовательных движений приходят значительные площади суши; отмечено большое иссушение климата.

В конце силура наблюдается развитие своеобразных *членистоногих — ракоскорпионов.* К ордовику и силуру относится расцвет в морях головоногих моллюсков. Появляются новые представители *беспозвоночных — иглокожие.*

В силурийских морях появляются так называемые панцирные «рыбы». Внутренний скелет у них был хрящевым, а снаружи тело было заключено в костный панцирь, состоящий из щитков. Панцирные «рыбы» лишь по форме тела напоминали настоящих рыб. Они принадлежали к особой ветви позвоночных — *бесчелюстным.*

В конце силура — начале девона начинается интенсивное развитие *наземных растений.* Первые наземные растения были лишены настоящих листьев, их строение напоминает строение многоклеточных зеленых водорослей, от которых они произошли. Появление на суше высших растений было подготовлено более ранним выходом из воды бактерий и сине-зеленых, образованием почвы.

Выходят на сушу и животные. Одними из первых перешли из водной среды представители типа *членистоногих — пауки.*

Наступивший в конце силура горообразовательный период вновь изменил климат и условия существования организмов.

1. Какие крупнейшие ароморфозы произошли в кембрии и ордовике?
2. Какие факторы эволюции привели к возникновению ароморфозов, позволили растениям выйти на мелководье, а затем на сушу?



Рис. 69. Фауна раннего палеозоя (кембрий, ордовик, силур):

1 — колония археоцит; *2* — скелет силурийского коралла; *3* — обитатель мелководных заливов силурийских морей — гигантский ракоскорпион; *4* — головоногий моллюск; *5* — морские лилии; *6*—*8* — древнейшие позвоночные бесчелюстные — панцирные «рыбы»; *9* — одиночные кораллы; *10, 11* — трилобиты — примитивнейшие ракообразные; *12* — раковина силурийского головоногого моллюска

§ 55. РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ В ПОЗДНЕМ ПАЛЕОЗОЕ (ДЕВОН, КАРБОН, ПЕРМЬ)

Девон. В результате поднятия суши и сокращения морей климат девона был более континентальный, нежели в силуре. В девоне появились пустынные и полупустынные области.

В морях обитали настоящие рыбы, вытеснившие панцирных «рыб». Среди них были хрящевые рыбы (современные представители — акулы), появились и рыбы с костным скелетом. В мелководных водоемах жили двоякодышащие рыбы, у которых наряду с жаберным дыханием возникло и легочное (легкое развилось из плавательного пузыря). Кистеперые рыбы (рис. 70, *1*), возникшие в девоне, обладали таким строением парных плавников, от которых произошли конечности первых наземных позвоночных. Считалось, что кистеперые почти вымерли в конце палеозоя и совсем исчезли к концу мезозоя. Но недавно (начиная с 1938 г.) у берегов Южной

Африки и Мадагаскара были пойманы современные кистеперые рыбы — латимерии — настоящие «живые ископаемые» (рис. 71).

В девоне на суше появляются первые леса из гигантских папоротников, хвощей и плаунов. Новые группы животных начинают завоевывать сушу. Представители членистоногих, приобретшие воздушное дыхание, дают начало многоножкам и первым насекомым.

В конце девона потомки рыб выходят на сушу, образуя первый наземный класс позвоночных, — *земноводных* и *амфибий.* Их отрыв от водной среды не был еще окончательным, так как они откладывают икру в воде. Земноводные в такой же степени зависели от водной среды, как и папоротникообразные, размножение которых тоже происходит в воде. Поэтому первые наземные высшие

Рис. 70. Фауна второй половины палеозоя (девон, карбон, пермь):

1 — кистеперая рыба (девон); *2* — древнейшее земноводное — стегоцефал (карбон); *3* — стрекоза (карбон); *4* — древнейшее пресмыкающееся — хищный ящер иностранцевий (пермь); *5* — всеядный ящер — диметродон (пермь); *6* — растительноядный ящер — парейазавр (пермь); *7* — рыбоядный ящер (пермь)



Рис. 71. Латимерия — современная кистеперая рыба

растения и животные еще не могли завоевать внутриконтинентальные массивы суши, расположенные в дали от водоемов.

Карбон. В каменноугольном периоде, или карбоне, происходит заметное потепление и увлажнение климата. На низменных материках весьма распространяются заболоченные низины. В жарких, тропического типа болотистых лесах произрастают громадные (высотой до 40 м) папоротники, хвощи и плауны. Помимо этих растений, размножающихся спорами, в карбоне начинают распространяться голосеменные растения, возникшие еще в конце девона. Расцвет древесной растительности в карбоне привел к образованию из отмерших растений мощных пластов каменного угля в Донбассе и Подмосковном угольном бассейне.

Во влажных и теплых болотистых лесах исключительного расцвета и разнообразия достигли древнейшие земноводные — стегоцефалы. Появляются первые отряды *крылатых насекомых* — тараканы, длина тела которых достигает 10 см, и стрекозы, некоторые виды которых имели размах крыльев до 75 см.

К концу карбона начинается небольшое поднятие суши, некоторая сухость климата и похолодание. К этому периоду относится появление первых пресмыкающихся — полностью наземных представителей позвоночных. Жизнь в морях карбона существенно не отличалась от девона.

Пермь. Дальнейшее поднятие суши привело в перми к развитию засушливого климата и похолоданию. Влажные и пышные леса смещаются к экватору, постепенно вымирают папоротникообразные. Им на смену приходят голосеменные растения.

Сухость климата способствовала исчезновению земноводных — стегоцефалов. Зато значительного разнообразия достигают древнейшие пресмыкающиеся, возникшие еще в конце карбона. Пресмыкающиеся, как известно, откладывают яйца, которые имеют специальную прослойку из жидкости, защищающую зародыш от высыхания. Эта жидкая прослойка, заключенная внутри яйца, как

бы заменяет пресмыкающимся и другим высшим позвоночным ту водную среду, в которой развиваются икринки рыб и земноводных.

Кроме того, усложнение легких создало предпосылки для защиты покровов тела пресмыкающихся чешуей, которая предохраняет тело от высыхания и не допускает кожного дыхания. Благодаря этим приспособлениям премыкающиеся смогли широко расселиться по суше. Они были самой высокоорганизованной группой животных в перми.

Итак, наиболее существенный этап развития жизни в палеозое — завоевание суши многоклеточными растениями и животными. Выход многоклеточных растений на сушу был подготовлен бактериями, сине-зелеными, а возможно, и лишайниками, которые в течение протерозоя образовали верхний слой земной коры, богатый органическими веществами и минеральными солями, — почву.

Выход на сушу сопровождался у растений, членистоногих и позвоночных рядом сходных изменений в строении тела, размножении, дыхании. Эти изменения были связаны с приобретением принципиально новых черт организации у растений и животных, с эволюцией по пути морфофизиологического прогресса. На основе таких принципиальных изменений — ароморфозов — обеспечивался биологический прогресс наземных растений и животных.

▶ 1. Какие условия способствовали выходу позвоночных на сушу?

▶ 2. Какие приспособления возникают у растений и животных в связи с выходом на сушу?

▶ 3. Приведите примеры палеозойских ароморфозов.

§ 56. РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ В МЕЗОЗОЕ

В конце палеозоя происходит горообразование, вызвавшее поднятие суши и возникновение Урала, Алтая. Все это приводит к дальнейшему усилению засушливости климата, начавшемуся в пер-

Рис. 72. Мезазойские пресмыкающиеся — завоеватели моря, суши, воздуха:

1 — водяной ящер — ихтиозавр (триас); *2* — полуводный ящер — плезиозавр (мвл); *3* — рогатый динозавр — стиракозавр (мел); *4* — лвтающий хвостатый ящвр — рамфоринкус; *5* — летающий бесхвостый ящвр — птвранодон (мел); *6* — растительноядный динозавр — бронтозавр (юра); *7* — рвстительноядный динозавр — стегозавр (юра)

7 Общая биология 10 11 кл.

ми. Площадь суши была значительно большей, чем сейчас. Мезозой справедливо называют эрой *пресмыкающихся* (рис. 72). Их расцвет, широчайшая дивергенция и вымирание происходят именно в эту эру.

Триас. В триасе сильно сокращаются площади внутриконтинентальных водоемов, развиваются пустынные ландшафты. В условиях засушливого климата вымирает множество сухопутных организмов, у которых отдельные этапы жизни связаны с водой. Вымирает большинство земноводных, почти полностью исчезают древовидные папоротники, хвощи и плауны. Вместо них начинают преобладать наземные формы, в жизненном цикле которых нет стадий, связанных с водой. Среди растений в триасе сильного развития достигают *голосеменные,* среди животных — *пресмыкающиеся.*

Из триасовых пресмыкающихся дожили до наших дней черепахи, крокодилы и гаттерии. Гаттерия, сохранившаяся ныне лишь на нескольких островах близ Новой Зеландии, — настоящее «живое ископаемое». Она очень мало изменилась за последние 200 млн. лет и сохранила, как и ее триасовые предки, третий глаз, расположенный в крыше черепа. В триасе появляются растительноядные и хищные динозавры. Их размеры были относительно невелики; длина тела крупных триасовых динозавров достигала 5—6 м, мелкие были размером с курицу.

В морях развиваются костистые рыбы, тогда как разнообразие хрящевых и кистеперых рыб постепенно сокращается. Все более разнообразными становятся головоногие моллюски. Изобилие рыб и моллюсков позволило некоторым пресмыкающимся освоить водную среду, богатую пищей. Среди водных форм наиболее известны ихтиозавры (см. рис. 72, *1*), которые по строению тела весьма напоминали акул и современных дельфинов.

Наряду с несомненными прогрессивными чертами в организации пресмыкающихся имеется одна весьма существенная несовершенная черта — непостоянная температура тела. При понижении температуры среды пресмыкающиеся становятся вялыми, оцепеневают. В течение всего сравнительно теплого мезозоя непостоянная температура тела пресмыкающихся не была слишком большим отрицательным свойством. Уже в триасе возникают первые представители *теплокровных* — мелкие примитивные млекопитающие. Млекопитающие триаса, по-видимому, были яйцекладущими, подобно современным ехидне и утконосу.

Юра. В юре происходит некоторое расширение площадей тепловодных морей. В морях весьма многочисленны головоногие моллюски — аммониты и белемниты. Спиралевидная раковина аммонитов нередко попадается в отложениях мезозойских морей. Белемниты несколько напоминали современных кальмаров. Остаток их скелета («чертов палец») обычен в отложениях мезозойских морей (рис. 73).

Весьма разнообразны *морские пресмыкающиеся.* Помимо ихтиозавров, в морях юры появляются плезиозавры (рис. 72) — животные с широким туловищем, длинными ластами и змеевидной шеей. Мор-

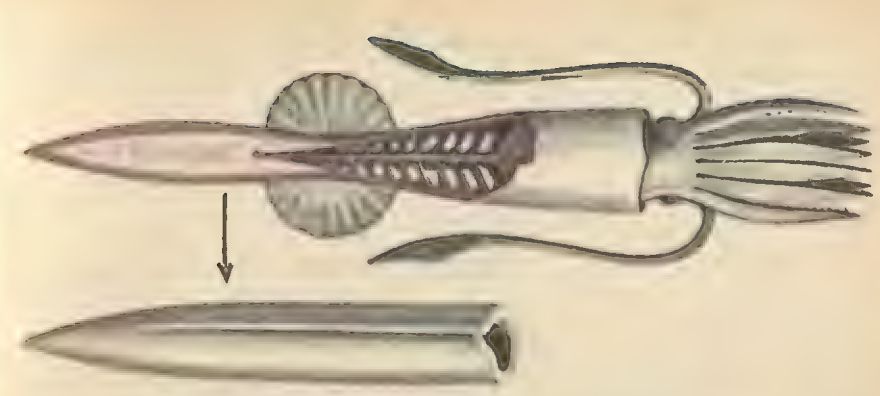


Рис. 73. Юрский головоногий моллюск — белемнит:

сверху — общий вид (сильно уменьшено); *снизу* — остаток внутреннего скелета белемнита — «чертов палец» ($^3/_4$ натуральной величины)



Рис. 74. Юрская первоптица — археоптерикс:

внизу — отпечаток скелета на сланцах; *вверху* — реконструкция внешнего вида

ские пресмыкающиеся как бы поделили между собой пищевые ресурсы: плезиозавры охотились на мелководьях прибрежной зоны, а ихтиозавры — в открытом море.

В юре пресмыкающиеся начали осваивать и воздушную среду. Разнообразие летающих насекомых создавало условия для развития насекомоядных летающих ящеров. Мелкими летающими ящерами стали питаться крупные ящеры. Летающие ящеры (рис. 72, *4*, *5*) просуществовали до конца мела.

Одновременно с этим в юре от пресмыкающихся возникли и *птицы*. Найденные в юрских сланцах первоптицы — археоптериксы — причудливо сочетали признаки пресмыкающихся и птиц. Голова археоптерикса (рис. 74) напоминала голову ящерицы, на крыльях сохранились пальцы с когтями, имелся длинный хвост. Но наряду с этими примитивными признаками археоптериксы обладали и сходством с современными птицами: тело было покрыто перьями, возникшими из видоизмененных чешуй.

На суше в юре встречаются гигантские растительноядные динозавры. Длина тела достигала у некоторых из них 30 м (рис. 72, *6*). Крупных размеров достигали и охотившиеся за ними динозавры.

Среди растений в этот период сохраняется господство голосеменных. Некоторые из них, например секвойи, дожили до наших дней.

Мел. Меловой период (или мел) назван в связи с образованием мела в морских отложениях того времени. Он возник из остатков раковинок простейших животных — фораминифер (рис. 75).

В этом периоде возникают и чрезвычайно быстро распространяются *покрытосеменные* растения, вытесняются голосеменные.

Пресмыкающиеся были представлены в мелу новыми динозаврами. Некоторые из них передвигались на задних ногах и напоминали страусов; по-прежнему встречались гигантские формы. Защита от хищных пресмыкающихся пошла у одних растительноядных динозавров в сторону гигантизма, у других — в сторону развития защитных орудий — рогов и костных щитов. Некоторые из растительноядных динозавров отдаленно напоминали носорогов. Весьма разнообразны были летающие ящеры (см. рис. 72).

Птицы еще сохранили зубы, но в остальном существенно не отличались от современных птиц. Во второй половине мела возникли *сумчатые* и *плацентарные млекопитающие*. Длительное вынашивание детенышей в теле матери, питание эмбрионов через плаценту, связывающую кровотоки матери и плода, — важнейшие приспособления млекопитающих к непостоянным условиям существования.

Непостоянная температура тела и откладка яиц ставили пресмыкающихся в большую зависимость от колебаний температуры среды, ограничивали возможность их проникновения в приполярные районы. Приобретя живорождение, заботу о потомстве и теплокровность, млекопитающие стали менее зависимыми от изменений среды, нежели пресмыкающиеся. Эти обстоятельства и привели в кайнозое к смене господства пресмыкающихся господством млекопитающих. Приобретение живорождения, теплокровности были



Рис. 75. Фораминиферы

Сверху и снизу — живые формы; *посередине* — скелеты вымерших форм, образующих мел

теми ароморфозами, которые обеспечили прогресс млекопитающих.

Широкое распространение насекомых и появление первых покрытосеменных растений привело со временем к связи между ними. У покрытосеменных возник *цветок* — орган размножения, привлекающий насекомых окраской, запахом и запасами нектара. Насекомые, питаясь нектаром, стали переносчиками пыльцы. Перенос пыльцы насекомыми по сравнению с ветроопылением приводит к меньшей растрате гамет. Тот же процесс экономного расходования гамет наблюдается и в ряду позвоночных. Гибель гамет при

наружном оплодотворении (у рыб, земноводных) гораздо больше, чем при внутреннем (у пресмыкающихся, птиц, млекопитающих).

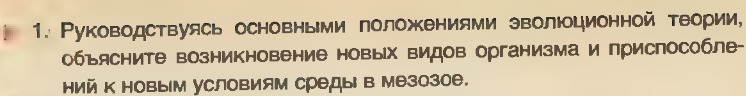
В конце мела климат изменяется в сторону резкой континентальности и общего похолодания. В морях вымирают аммониты и белемниты, а вслед за ними и питавшиеся ими морские ящеры — плезиозавры и ихтиозавры. На суше стала сокращаться влаголюбивая растительность, служившая пищей растительноядным динозаврам, что привело к их исчезновению; вымерли и хищные динозавры. Из пресмыкающихся лишь в экваториальных областях сохранились крупные формы — крокодилы, черепахи и гаттерии. Большинство выживших пресмыкающихся (ящерицы, змеи) были небольших размеров.

В условиях резко континентального климата и общего похолодания исключительные преимущества получили *теплокровные* — птицы и млекопитающие, чей расцвет относится к следующей эре — кайнозою.



Рис. 76. Третичные млекопитающие:

1 — фенакодус — пятипалый предок лошадей (палеоцен); *2* — зогиппус — эоценовый предок лошадей имел четыре пальца на передних и три на задних конечностях; *3* — гиппарион — трехпалая лошадь — характерный житель плиоценовых степей и саванн; *4* — палеотранус — предок современных жираф (миоцен — плиоцен); *5* — саблезубый тигр (плиоцен); *6* — оленеобразный жираф сиватерий (плиоцен); *7* — гигантский носорог — индикатерий (олигоцен); *8* — меритерий — древнейший предок слоное (эоцен); *9* — миоценовый слон


1. Руководствуясь основными положениями эволюционной теории, объясните возникновение новых видов организма и приспособлений к новым условиям среды в мезозое.
2. Приведите примеры биологического регресса в мезозое.
3. Приведите примеры ароморфозов, возникших в мезозое.

§ 57. РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ В КАЙНОЗОЕ

Кайнозойская эра — это расцвет цветковых растений, насекомых, птиц и млекопитающих. Мы живем в кайнозое.

Третичный период. Кайнозой делится на два неравных периода: третичный и четвертичный. В первой половине третичного периода широко распространены *леса тропического* и *субтропического типа.* В конце третичного периода начинается великий процесс *остепнения* суши. Тропические и саванновые леса, росшие некогда в умеренной зоне от Венгрии до Монголии, сменяются степями.

Среди покрытосеменных во второй половине третичного периода наблюдается широкое распространение однодольных растений, преобладают *травянистые формы*. Они постепенно вытесняют древесную растительность.

В течение третичного периода от насекомоядных обособляется отряд *приматов*. К середине этого периода широко распространены и общие предковые формы *человекообразных обезьян* и *людей*. В первой половине третичного периода успели возникнуть все современные отряды млекопитающих.

К концу третичного периода встречаются представители всех современных семейств животных и растений и подавляющее большинство родов (рис. 76).

Процесс остепнения суши привел к вымиранию одних древесных и лесных форм и к выходу других на открытое пространство. В результате сокращения лесных площадей одни из форм антропоидных (человекообразных) обезьян отступали в глубь лесов, другие спустились с деревьев на землю и стали завоевывать открытые пространства. Потомками последних являются люди, возникшие в конце третичного периода.

Четвертичный период. Мы живем в четвертичном периоде. Четвертичный период продолжается около 1,0—1,5 млн. лет. Бо́льшая часть времени пришлась на ледниковый период, в течение которого территории Евразии и Северной Америки четырежды подвергались гигантским оледенениям. Языки ледника, сползавшего со Скандинавии, доходили до Киева, Харькова, Воронежа! Ледники Антарктиды, Гренландии, Северной Земли, Земли Франца-Иосифа и Памира — остатки четвертичных оледенений (рис. 77).



Рис. 77. Карта четвертичного оледенения

В течение четвертичного периода вымирают мамонты, саблезубые тигры, гигантские ленивцы, большерогие торфяные олени и другие животные (рис. 78). Большую роль в вымирании крупных млекопитающих сыграли древние охотники. Они истребили мамонта и шерстистого носорога в Евразии, мастодонтов, лошадей, гигантских ленивцев и морских коров в Америке. Исчезновение многих крупных хищников (пещерный лев, пещерный медведь и др.) было связано с тем, что человек уничтожил их жертв — крупных копытных. Существенно сокращается область распространения одних видов и увеличивается область распространения других.

Отрицательные температуры в зоне оледенения приводили к тому, что пары воды конденсировались в виде снега, а таяние льдов и снегов ежегодно давало меньше воды, чем выпадало снега. Накопление гигантских запасов льда на суше привело к существенному понижению уровня мирового океана (на 60—90 м). В результате возникли сухопутные мосты между континентальной Европой и Британскими островами, Азией и Северной Америкой, между полуостровом Индокитай и островами Зондского архипелага. По этим участкам суши происходил обмен животными и растениями.

Те же сухопутные мосты, которые служили путями обмена между наземными животными и растениями, препятствовали обмену фауной и флорой в сообщавшихся ранее морях. Отсутствие сухопутного моста между Азией и Австралией, которая с мелового периода была островом, сохранило жизнь примитивнейшим млекопитающим — клоачным и сумчатым, которые еще в третичном периоде были вытеснены на других континентах плацентарными млекопитающими.

В Старом Свете (за исключением Мадагаскара) человек расселился как минимум 500 тыс. лет назад, а возможно, значительно раньше. Перед последним оледенением (около 35—40 тыс. лет назад) через сухопутный мост в районе современного Берингова пролива древние охотники из Азии перешли в Северную Америку, которую заселили до Огненной Земли. По мере таяния ледников — 10 тыс. лет назад — началось вторичное заселение человеком территорий, освободившихся из-под ледников.

Около 10 тыс. лет назад в умеренно теплых областях Земли (Средиземноморье, Ближний Восток, Индия, Китай, Мексика, Перу и др.) наступила «неолитическая революция», связанная с переходом человека от собирательства и охоты к земледелию и скотоводству. Начались одомашнивание животных и введение растений в культуру.

Бурная деятельность человека: распашка земель, раскорчевка и выжигание лесов, стравливание пастбищ и вытаптывание травостоев домашними животными — привела к вымиранию или сокращению ареалов многих степных животных (тур, тарпан и др.), к расширению площадей пустынь (Сахара, Каракумы, Такла-Макан), появлению подвижных песков.

Весь четвертичный период в Старом Свете происходил при участии и значительном влиянии человека. Все это в основном опреде-



лило тот видовой состав органического мира, который существует в настоящее время, повлияло на современное географическое распространение организмов, создало современные сообщества организмов. Огромную роль в расселении видов и видообразовании сыграли как сухопутные мосты, так и изоляция ледниками. Множество видов и подвидов сформировались в течение четвертичного периода.

1. Приведите примеры идиоадаптации в кайнозое.
2. Какие изменения фауны и флоры происходили в течение третичного периода?
3. Как изменились фауна и флора в течение четвертичного периода?
4. Как изменения среды, происходящие в последнее время, влияют на эволюцию ныне живущих организмов?



Рис. 78. Млекопитающие четвертичного периода:

1 — широконосый носорог (начало периода); *2* — носорог — эласмотерий (середина периода); *3* — гигантский броненосец — глиптодонт (конец периода); *4* — гигантский ленивец — мегатерий (конец периода); *5* — шерстистый носорог (конец периода); *6* — мамонт (конец периода, ледниковая эпоха); *7* — древний слон (середина периода); *8* — древний зубр, предок современного зубра и бизона (середина и конец периода); *9* — гигантский торфяной олень (середина периода); *10* — современный индийский слон

§ 58. МНОГООБРАЗИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА. ПРИНЦИПЫ СИСТЕМАТИКИ

В итоге эволюционного процесса возникло то разнообразие форм жизни, которое наблюдается при изучении современных и ископаемых видов животных, растений, грибов и микроорганизмов. Их классификацией, т.е. группировкой по сходству и родству, занимается отрасль биологии, называемая *систематикой*.

Изучение разнообразия животного мира, описание новых, еще не известных науке видов пока далеки от завершения. Находки новых видов возможны даже среди таких крупных животных, как млекопитающие. Например, в фауне СССР раз в 3—4 года описывается новый, не известный науке вид. Скажем, что лишь в середине



Рис. 79. Погонофора

50-х годов XX в. ленинградский зоолог А. В. Иванов открыл новый тип животных — погонофор (рис. 79). По масштабам это открытие может быть сравнимо с открытием новой планеты Солнечной системы.

Возникновение систематики. Основоположником систематики был шведский натуралист Карл Линней. Он впервые предложил классифицировать организмы на виды, роды и классы. Современная наука многим обязана К. Линнею. Он впервые выделил классы млекопитающих и птиц, смело объединил обезьян и человека в один отряд приматов. Однако Линней не утверждал, что человек произошел от обезьяны, а лишь отметил их несомненное внешнее сходство.

Всю жизнь великий ученый посвятил систематизации живой и неживой природы. Основной его труд — «Система природы», в которой он описал огромное для того времени число видов растений и животных. В первом издании этой книги было лишь 13 страниц, а в последнем, двенадцатом — 2335. Если бы мы сегодня попытались описать все известные нам виды растений, животных, грибов, микроорганизмов, уделив каждому виду по 10 строк, то описания заняли бы 10 тыс. таких книг, как «Система природы».

Карл Линней впервые ввел в науку систему двойных латинских названий живых организмов, так называемую *бинарную номенклатуру*, которая позволила установить порядок в описании новых видов. Введение латыни для научных наименований живых организмов существенно облегчило общение ученых разных стран. Каждый организм должен в соответствии с требованиями бинарной номенклатуры именоваться сначала родовым названием (пишется с прописной буквы), а затем видовым (пишется со строчной буквы).

В разных районах нашей страны одного и того же зверька — степного сурка называют по-разному: байбак, бабак, бабачок, тарбаган, свиц, свистун, суур. сугур, эксачок. Научное же латинское название этого вида — Marmota bobak (сурок-байбак) — является единственным, которым пользуются зоологи.

Искусственная и естественная системы. Если нам нужно установить порядок в книгохранилище, то мы может исходить из самых разных принципов. Можем классифицировать книги, например, по цвету обложки или формату. Подобная классификация книг искусственна, так как она не отражает главного — содержания книг.



КАРЛ ЛИННЕЙ (1707—1778) — шведский натуралист, врач. Основоположник принципов и методов систематики органического мира. Основатель и первый президент шведской Академии наук. Почетный член Санкт-Петербургской академии наук.

Система Линнея была *искусственной*. В основу классификации он положил не истинное родство организмов, а их сходство по некоторым наиболее легко отличимым признакам. Объединив растения по числу тычинок, по характеру опыления, К. Линней в ряде случаев создал совершенно искусственные группы. Так, в класс растений с пятью тычинками он объединил морковь, лен, лебеду, колокольчики, смородину и калину. Из-за различий в числе тычинок ближайшие родственники, например брусника и черника, попали в разные классы. Зато в другом классе (однодомных растений) встретились осока, береза, дуб, ряска, крапива и ель. Однако, несмотря на эти очевидные просчеты, искусственная система Линнея сыграла огромную роль в истории биологии, так как помогала ориентироваться в огромном многообразии живых существ.

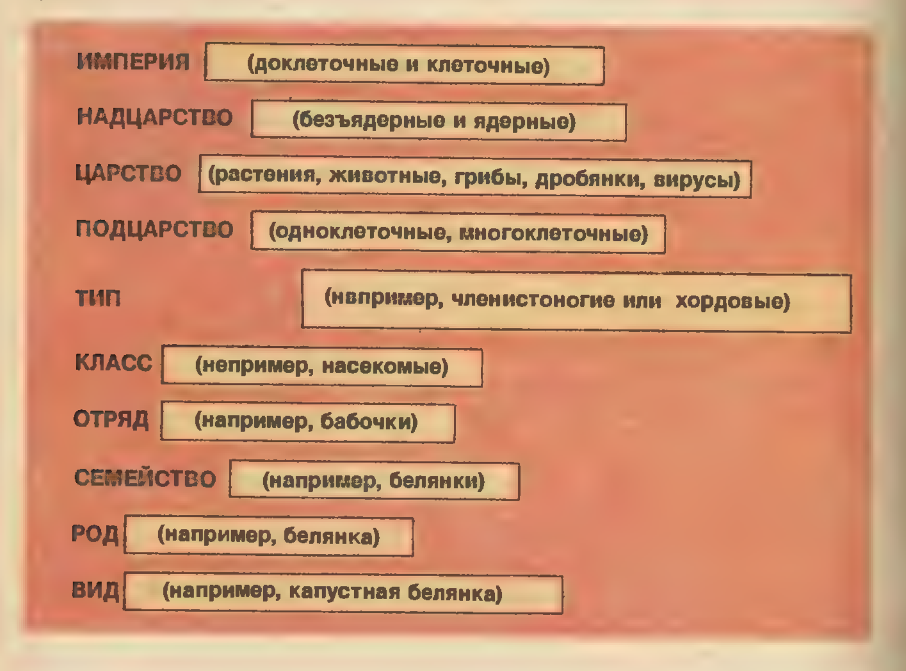
Когда К. Линней и его последователи группировали близкие виды в роды, роды — в семейства и т.д., они брали в основу внешнее сходство форм. Причины такого сходства оставались не раскрытыми.

Решение этого важнейшего вопроса принадлежит Ч. Дарвину, который показал, что причиной сходства может быть общность происхождения, т.е. родство. Со времен Дарвина систематика стала *эволюционной* наукой. Если теперь зоолог-систематик объединяет роды собак, лисиц и шакалов в единое семейство псовых, то он исходит не только из внешнего сходства форм, но и из общности их происхождения (родства). Общность происхождения доказывается изучением исторического развития описываемых видов.

Для того чтобы построить систему той или иной группы, ученые используют совокупность наиболее существенных признаков: изучают ее историческое развитие по ископаемым остаткам, исследуют сложность анатомического строения современных видов, особенности размножения, сложность организации (доклеточные — клеточные, безъядерные — ядерные, одноклеточные — многоклеточные), сравнивают их эмбриональное развитие, особенности химического

состава и физиологии, изучают тип запасающих веществ, современное и прошлое распространение на нашей планете. Это позволяет определить положение данного вида среди остальных и построить *естественную* систему, отражающую степень родства между группами организмов.

Вот как выглядит очень упрощенная схема соподчинения систематических единиц, используемых для естественной классификации:



1. Почему систему Линнея называют искусственной?
2. В чем значение трудов К. Линнея для развития систематики?
3. Можно ли сказать, что систематика является отображением эволюционного процесса? Поясните ответ.

§ 59. КЛАССИФИКАЦИЯ ОРГАНИЗМОВ

Две империи и пять царств природы. Подавляющее большинство ныне живущих организмов состоит из клеток. Лишь немногие примитивнейшие организмы — *вирусы* и *фаги* — не имеют клеточного строения. По этому важнейшему признаку все живое делится на две *империи* — доклеточных (вирусы и фаги) и клеточных (сюда относятся все остальные организмы: бактерии и близкие к ним группы; грибы; зеленые растения и животные).

Представление о том, что все живое делится на два царства — животных и растений, — ныне устарело. Современная биология

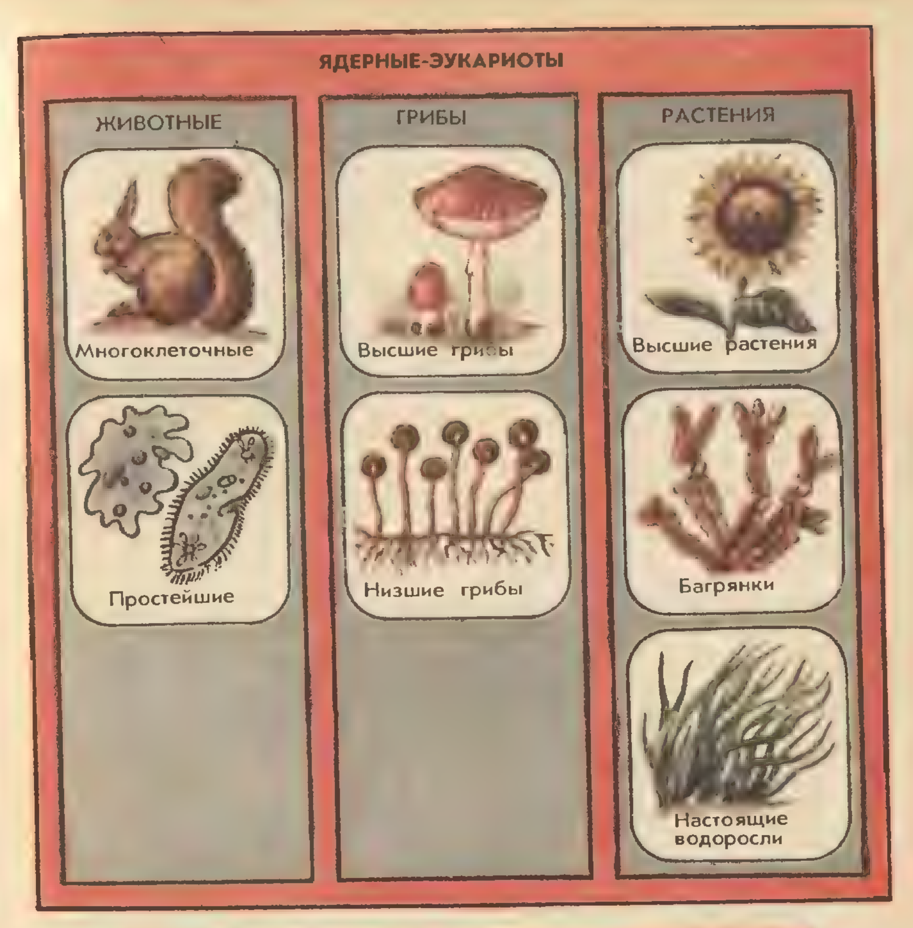




Рис. 80. Схема классификации клеточных организмов

признает разделение на пять *царств:* прокариот, или дробянок, зеленых растений, грибов, животных (рис. 80); отдельно выделяется царство вирусов — доклеточных форм жизни.

Доклеточные формы жизни — вирусы и фаги. Империя доклеточных состоит из единственного царства — вирусов. Это мельчайшие организмы, их размеры колеблются от 12 до 500 мкм. Мелкие вирусы равны крупным молекулам белка.

Вирусы — паразиты клеток. Вирусы бактерий называют *фагами* или *бактериофагами.*

Вирусы (рис. 81) принципиально отличаются от всех других организмов. Вот важнейшие особенности доклеточных:

1. Они могут существовать только как внутриклеточные паразиты и не могут размножаться вне клеток тех организмов, в которых паразитируют.

2. Содержат лишь один из типов нуклеиновых кислот — либо РНК, либо ДНК (все клеточные организмы содержат и ДНК, и РНК одновременно).

3. Имеют очень ограниченное число ферментов, используют обмен веществ хозяина, его ферменты, энергию, полученную при обмене веществ в клетках хозяина.

Вирусы впервые были открыты в 1892 г. выдающимся русским биологом Д. И. Ивановским, который стал основателем новой биологической дисциплины — *вирусологии.*

Клеточные, их разделение на безъядерных и ядерных. Организмы с клеточным строением объединяются в *империю клеточных,* или *кариот* (от греч. «карион» — ядро). Типичная структура клетки, свойственная большинству организмов, возникла не сразу. В клетке представителей древнейших из современных типов организмов (сине-зеленых и бактерий) цитоплазма и ядерный материал с ДНК еще не отделены друг от друга.

По наличию или отсутствию ядра клеточные организмы делят на два *надцарства: безъядерные (прокариоты)* и *ядерные (эукариоты)* (от греч. «протос» — первый и «эу» — собственно, настоящий).

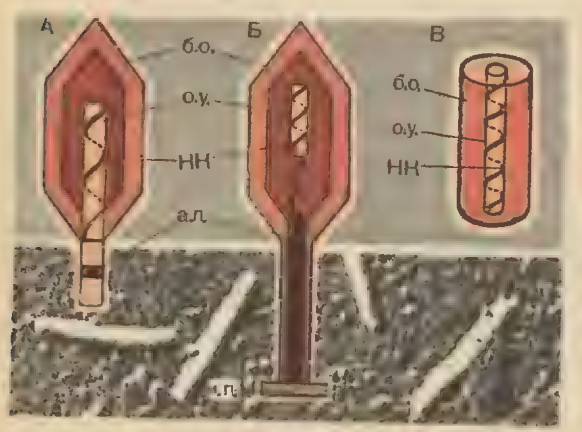


Рис. 81. Схема строения фагов (*А*, *Б*) и вирусов (*В*).

Внизу — вирус табачной мозаики под электронным микроскопом: *а.п.* — аппарат прикрепления; *б.о.* — белковая оболочка; *м.п.* — место прикрепления к клетке хозяина; *НК* — нуклеиновая кислота; *о.у.* — опорное устройство

К первой группе относят сине-зеленых и бактерии, ко второй — всех животных, зеленые растения и грибы. (См. задний форзац.)

Прокариоты (дробянки). К прокариотам относят наиболее просто устроенные формы клеточных организмов (см. Приложение, табл. 3).

С и н е - з е л е н ы е. В клетках сине-зеленых нет ядра, вакуолей, отсутствует половое размножение, что резко отличает их от низших растений (рис. 82).

Сине-зеленые замечательны тем, что способны усваивать азот воздуха и превращать его в органические формы азота. При фотосинтезе они используют углекислый газ, выделяя молекулярный кислород. Они могут использовать как солнечную энергию (автотрофность), так и энергию, выделяющуюся при расщеплении готовых органических веществ (гетеротрофность).

Б а к т е р и и. Одна часть бактерий способна утилизировать солнечную энергию, другая получает энергию, используя органические вещества.

Микроорганизмы играют огромную роль в *биологическом круговороте* веществ в природе и хозяйственной жизни человека. Изготовление простокваши, кефира, ацидофилина, творога, сметаны, сыров, уксуса немыслимо без действия бактерий.



Рис. 82. Сине-зеленые

В настоящее время многие микроорганизмы используются для промышленного получения нужных человеку веществ. Микробиологическая промышленность стала важной отраслью производства.

Печальную известность получили паразитические бактерии — возбудители опаснейших заболеваний человека: чумы, холеры, туберкулеза, дизентерии и множества других заболеваний. Вирусы и бактерии — основные возбудители инфекционных заболеваний.

Эукариоты. Все остальные организмы относят к ядерным, или эукариотам. Основные признаки эукариот показаны в таблице 3 (см. Приложение).

Эукариоты делятся на три царства: *зеленые растения, грибы* и *животные.*

З е л е н ы е р а с т е н и я. Сюда относят зеленые растения с автотрофным питанием. Очень редко встречается гетеротрофность (например, у насекомоядного растения росянки и у паразитического растения омелы). Всегда есть пластиды. Клетки, как правило, имеют наружную оболочку из целлюлозы.



Рис. 83. Настоящие водоросли:

1 — одноклеточные; *2* — колониальные; *3* — каулерпа — многоядерная водоросль, тело которой не расчленено на клетки; *4* — нитчатая водоросль; *5* — многоклеточная харовая водоросль

Рис. 84. Багрянковая водоросль

Царство растений подразделяется на три подцарства: настоящие водоросли, багрянковые (красные водоросли) и высшие растения.

Настоящие водоросли — это низшие растения. Среди нескольких типов этого подцарства встречаются одноклеточные и многоклеточные, клетки которых по строению и функциям различны (рис. 83).

Замечательно, что в разных типах водорослей прослеживаются тенденции перехода от одноклеточности к многоклеточности, к специализации и разделению половых клеток на мужские и женские.

Таким образом, разные типы водорослей как бы делают попытку прорваться на следующий этаж — на уровень многоклеточного организма, где разные клетки несут различные функции. Переход от одноклеточности к многоклеточности — пример ароморфоза в эволюции зеленых растений.

Багрянковые — многоклеточные организмы. Окраска красных водорослей определяется наличием в их клетках помимо хлорофилла красного и синего пигментов (рис. 84). Багрянковые резко отличаются от настоящих водорослей тем, что даже мужские гаметы — спермии лишены жгутиков и неподвижны.

К *высшим растениям* относят группу растений, тело которых расчленено на корень, стебель и листья. Эти части растений связаны друг с другом системой проводящих тканей, по которым транспортируются вода и питательные вещества. Приобретение такой системы было важнейшим ароморфозом в эволюции растений. К высшим растениям относят споровые — мохообразные, папоротникообразные (рис. 85) и семенные — голосеменные, покрытосеменные (цветковые).

Споровые растения — первые из зеленых растений, вышедшие на сушу. Однако их подвижные, снабженные жгутиками гаметы, способны передвигаться только в воде. Поэтому такой выход на сушу нельзя считать полным.

Переход к семенному размножению позволил растениям отойти от берегов в глубь суши, что считается еще одним важнейшим ароморфозом в эволюции растений.

Г р и б ы. Среди грибов различают разнообразные формы: хлебную плесень, плесневый грибок пенициллум, ржавчинные грибы, шляпочные грибы, трутовики. Общими особенностями для столь разнообразных форм является образование вегетативного тела гриба из тонких ветвящихся нитей, образующих грибницу.

К группе низших эукариот относят л и ш а й н и к и. Это своеобразная группа организмов, возникшая в результате симбиоза. Тело лишайника образовано грибом, в котором могут жить сине-зеленые и зеленые водоросли.

Ж и в о т н ы е. Если спросить, чем отличаются животные от растений, то обычно можно услышать ответ: «Животные подвижны, а растения неподвижны». Это в основном правильный ответ, хотя известны подвижные растения (эвглены, вольвокс) и непо-



Рис. 85. Высшие споровые растения (папоротникообразные):

слева направо — хвощ, плаун, папоротник



Рис. 86. Представители членистоногих:

— рак; — паук; — клещ; — многоножка; — бабочка; — муха; — *жук;* — кузнечик

движные животные (коралловые полипы). Но почему животные подвижны?

Все животные — гетеротрофные организмы. Они активно добывают органические вещества, поедая те или иные, как правило, живые организмы. Добыча такого корма требует подвижности. С этим и связано развитие разнообразных органов движения (например, ложноножки амебы, реснички инфузорий, крылья насекомых, плавники рыб и т. д., рис. 86). Быстрые движения невозможны без наличия подвижного скелета, к которому крепится мускулатура. Так возникает наружный хитиновый скелет членистоногих, внутренний костный скелет позвоночных.

С подвижностью связана и другая важная особенность животных: клетка животных лишена плотной наружной оболочки, сохраняя лишь внутреннюю цитоплазматическую мембранную оболочку. Наличие в клетке животных нерастворимых в воде твердых запасающих веществ (например, крахмала) препятствовало бы подвижности клетки. Вот почему основным запасающим веществом у животных является легкорастворимый полисахарид — гликоген.

Царство животных распадается на два подцарства: *простейших* (или *одноклеточных)* и *многоклеточных животных.* Морфологически простейшее — клетка, функционально — организм. Отсюда следует двойственность его природы. Функции органов и тканей у простейших несут отдельные участки клеток. Настоящие многоклеточные характеризуются объединением клеток различных типов в ткани.

? 1. Охарактеризуйте вирусы как доклеточные формы.

? 2. Назовите признаки, характерные для всех клеточных организмов.

? 3. Сравните строение и функции клеток прокариот и эукариот. Сделайте выводы.

▶ 4. Как вы считаете, какое практическое значение имеет систематика? Какие проблемы она помогает решить?

Глава XIV. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА

Люди с глубокой древности интересуются своим происхождением. Попытки понять и объяснить, как возник человек, мы встречаем у самых различных племен и народов в их верованиях, легендах, сказаниях.

§ 60. ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ОТ ЖИВОТНЫХ

Общность строения человека и животных. Строение скелета человека и других позвоночных, особенно млекопитающих, очень сходно. Например, в скелет конечностей входят одни и те же кости, хотя они иногда бывают значительно изменены. Расположение и функционирование внутренних органов тоже весьма одинаково. Большая общность наблюдается и в процессе эмбрионального развития.

Родство человека и животных подтверждается существованием *рудиментов* и *атавизмов.* У человека имеется большая группа нефункционирующих, так называемых рудиментарных органов. К ним относится особая мышца, позволяющая некоторым людям двигать ушами и кожей головы (остаток подкожной мускулатуры, развитой у многих представителей млекопитающих), копчиковая кость



Рис. 87. Атавизмы

(остаток исчезнувшего хвоста), маленькая полулунная складка в уголке глаза (остаток мигательной перепонки, имеющейся у многих хордовых, начиная с рыб, и лучше всего развитой у пресмыкающихся и птиц) и многие другие. Все эти органы бесполезны для человека и сохраняются у него в недоразвитом виде. Объяснить их существование можно лишь тем, что они достались человеку от его животных предков, у которых были хорошо развиты и выполняли определенные функции. Иногда у человека проявляются особенности, обычно у него не встречающиеся, но имеющиеся у животных. Такие особенности называют атавистическими (рис. 87). Например, наружный хвост, с которым очень редко рождаются люди, обильный волосяной покров на теле, включая лицо, добавочные соски, сильно развитые клыки и некоторые другие.

Существование рудиментов и атавизмов — одно из важных подтверждений происхождения человека от животных.

Человек — примат. Изучение всей совокупности анатомических и физиологических особенностей человека, его эмбрионального развития показывает, что человек относится к отряду приматов. Как и у большинства приматов, у человека развит головной мозг. Есть все типы зубов: резцы, клыки, коренные, происходит полная смена молочных зубов на постоянные. Как все приматы, человек обладает пятипалыми, очень подвижными передними конечностями хватательного типа.

Сходство и различия человека и высших человекообразных обезьян. Наиболее близкие родственники человека в мире современных животных — *антропоиды,* или *человекообразные обезьяны.* К ним принадлежат обитающие в Африке горилла, шимпанзе и индо-малайский орангутан. Было установлено, что все человекообразные обезьяны обладают рядом признаков, которые существенно отличают их от остальных приматов и сближают с человеком.

Сходство с человеком проявляется и во внешнем облике, и в размерах тела, и в способе передвижения, и в строении различных систем органов. Головной мозг антропоидов крупный (максимальный объем, отмеченный для горилл, равен 750 см^3), с относительно большим количеством борозд и извилин. У них такие же, как и у человека, основные группы крови. Многие заболевания являются общими для человека и человекообразных обезьян.

Эволюционная близость человека и человекообразных обезьян не ограничивается сходством в морфологии и физиологии, она связана также и с общностью хромосомного набора. Например, число хромосом у человека, как известно, составляет 46, у человекообразных обезьян — 48. Ученые полагают, что сокращение на одну пару хромосом произошло у человека вследствие слияния двух пар негомологичных хромосом.

Однако между человеком и человекообразными обезьянами имеются существенные различия. Все антропоиды, за исключением горилл, ведущих преимущественно наземный образ жизни, живут на деревьях. В связи с этим у них длинные передние конечности, крюкообразные кисти со слаборазвитым большим пальцем, хватательный тип стопы. При передвижении по земле они опираются на наружный край стопы, сохраняя равновесие с помощью передних конечностей.

Важнейшие отличительные особенности в строении человека связаны с его прямохождением. Вертикальное положение туловища у человека обусловило ряд изменений в строении скелета (в особенности позвоночника, таза, кисти), мускулатуры, в расположении внутренних органов и т. д. Большой палец руки хорошо развит, сильно противопоставляется остальным и очень подвижен, благодаря чему кисть человека способна к разнообразным и тонким движениям.

Различия антропоидов и человека наблюдаются также в строении черепа и мозга (рис. 88). Череп человека не имеет сплошных надбровных дуг, мозговая часть преобладает над лицевой, лоб высокий, челюсти слабые, клыки маленькие, на нижней челюсти имеется подбородочный выступ. У обезьян, наоборот, сильнее развита лицевая часть, особенно челюсти.

Мозг человека в 2—2,5 раза больше мозга человекообразных обезьян. Теменные, височные и лобные доли, в которых расположены важнейшие центры психических функций и речи, сильно развиты.

Труд и происхождение человека. Между человеком и человекообразными обезьянами отмечаются различия не только в строении органов, но и глубокие качественные различия в поведении и образе жизни.



Рис. 88. Строение мозга

Специфическая черта человека — целенаправленное создание и применение орудий труда, с помощью которых он изменяет среду своего обитания, делая ее более благоприятной. Появление орудий труда означало возникновение только для человека присущего вида деятельности — *производства.* Животные лишь используют то, что дает им природа, человек сам производит то, что ему нужно.

Появление самых первых и очень примитивных орудий труда резко снизило зависимость человека от природы, ослабило действие естественного отбора. Решающим в формировании и развитии человеческого общества был *труд* и *трудовые отношения* членов общества.

В процессе эволюции человечества — *антропогенезе* социальные закономерности приобретают все большее значение. Труд явился важнейшим фактором формирования человеческого сознания. Трудовая деятельность с каждым новым шагом расширяла кругозор человека. В процессе труда происходило сплочение членов человеческого коллектива и быстрое развитие способа общения между ними — *речи.* Труд, речь, сознание самым тесным образом связаны друг с другом. Под влиянием труда и речи совершенствовалось сознание человека. Развитие сознания, в свою очередь, оказывало обратное воздействие на труд и речь, «давая обоим все новые и новые толчки к дальнейшему развитию».

Трудовая деятельность человека была решающей в процессе антропогенеза (рис. 89). Особи и группы особей, способные к выполнению более разнообразных трудовых актов (совместная охота, изготовление примитивных орудий, общение друг с другом), оказывались гораздо более приспособленными, следовательно, имели больше шансов выжить.

По мере становления человечество в процессе трудовой деятельности решало все более трудные задачи, переходя от подчинения природы к управлению ею.

«Труд, — писал Энгельс, — первое основное условие всей человеческой жизни, и притом в такой степени, что мы в известном смысле должны сказать: труд создал самого человека».

1. Какие факты, кроме приведенных в учебнике, свидетельствуют о происхождении человека от животных?
2. Почему нельзя считать современных человекообразных обезьян предками человека?
3. В чем принципиальные отличия человека от животных, в том числе от высших человекообразных обезьян?
4. Какова роль труда в происхождении человека?

§ 61. ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА

Предпосылки антропогенеза. Изучение современных и ископаемых приматов дают материал, позволяющий понять, каким образом возникли характерные особенности человека, которые в итоге вывели его за пределы мира животных.

Общим предком человекообразных обезьян и наиболее высокоорганизованного в отряде приматов семейства гоминид (людей) была одна из ветвей узконосых обезьян. Древнейшие представители этой ветви уже не перебегали с ветки на ветку на четырех конечностях, а передвигались по земле на задних конечностях, помогая себе передними. Более или менее выпрямленное положение тела и перенос центра тяжести в основном на задние конечности резко изменили соотношение между всеми органами животного: грудная клетка делается шире и короче, позвоночный столб теряет форму дуги, свойственную всем животным, которые передвигаются на четырех ногах. Движения передних конечностей стали более свободными и разнообразными. Это оказалось очень полезным, так как позволило легче добывать пищу. В процессе естественного отбора такие особенности усиливались.

На ранних этапах эволюции приматов наши отдаленные предки жили на деревьях. Однако непосредственными предками гоминид были наземные двуногие обезьяны. Переход к наземному образу жизни осуществился задолго до появления ранних гоминид.

Переход к прямохождению, освободившему руку от участия в передвижении тела, — лишь одно и далеко не единственное условие превращения нашего далекого предка в человека. Не менее важным для процесса очеловечивания был стадный образ жизни, при котором слабость одной особи компенсировалась силой совместно обороняющегося стада, а опыт быстро становился опытом других, богатый набор способов общения друг с другом, всеядность, забота о потомстве. Высокий уровень развития мозга и психики, использование естественных предметов в качестве орудий для охоты и защиты

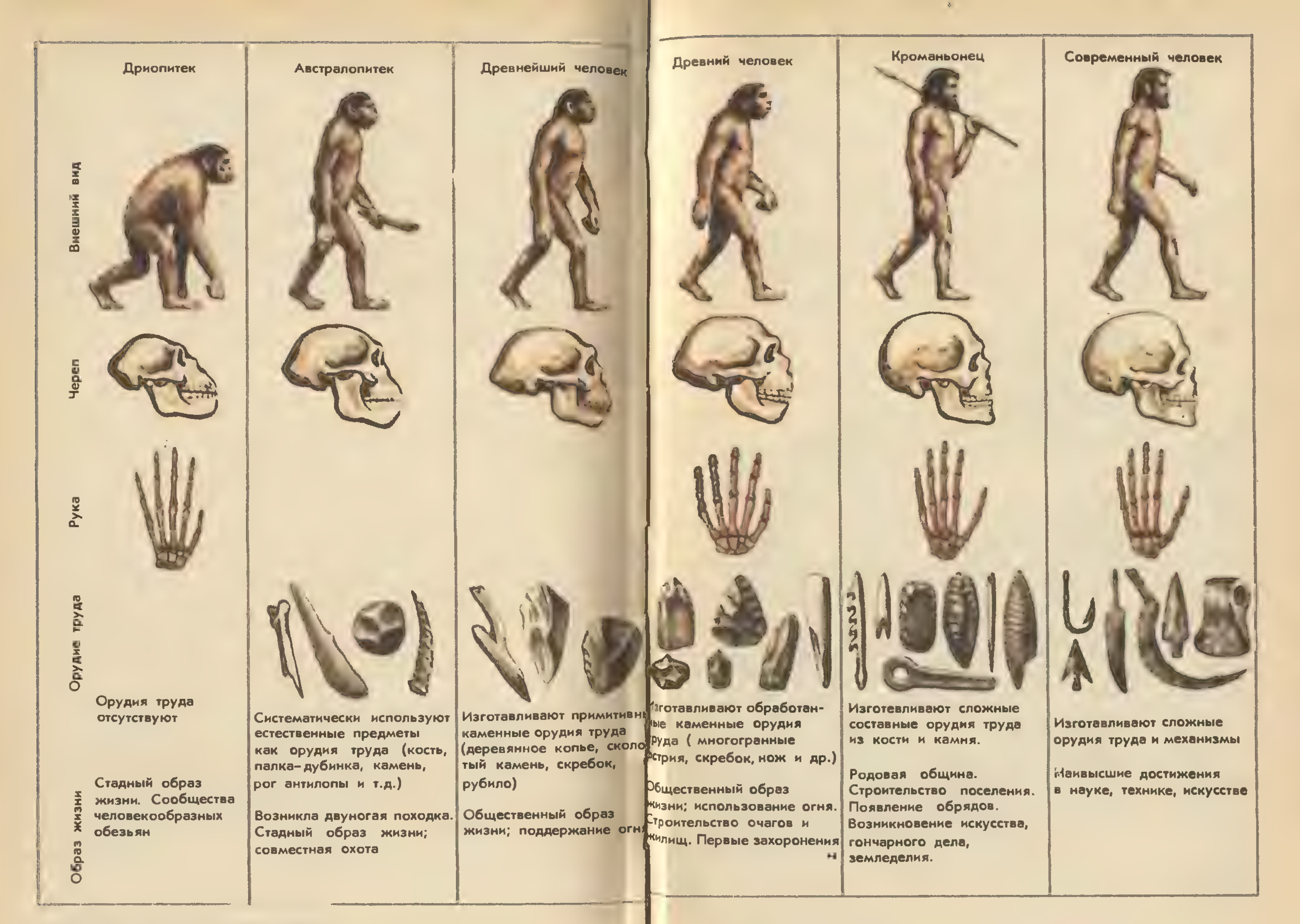


Рис. 89. Схема антропогенеза

от врагов стали главнейшими предпосылками очеловечивания, основой для развития мышления и трудовой деятельности.

Прежде чем человек окончательно выделился из мира животных, прошел длительный период.

Многие виды и популяции обезьян, вступив на путь очеловечивания, не закончили его, погибли в борьбе за существование. Различные виды обезьян от случая к случаю переходили к отдельным трудовым операциям, забрасывали их, снова к ним возвращались, пока труд из исключения не стал правилом. Естественный отбор способствовал выживанию особей и групп, обладавших способностью к трудовой деятельности.

Переход от использования различных естественных предметов в качестве орудий труда к регулярному и сознательному их изготовлению дал исходной группе приматов, из которой впоследствии возник человек, огромные преимущества перед остальными.



Предшественники человека. Начиная с 1924 г. в Африке находят остатки наземных приматов, получивших название *австралопитеков* (рис. 90).

Наиболее примечательной особенностью австралопитеков была их двуногость. Сдвинутое к центру черепа положение затылочного отверстия, строение бедренных и тазовых костей, сильно напоминающих человеческие, — все это заставляет предполагать, что передние конечности у австралопитеков не принимали участия в передвижении тела. Строение хорошо развитого большого пальца кисти говорит о том, что передние конечности этих приматов совершенствовались как хватательный орган, способный к манипулированию различными предметами: камнями, костями, палками. Австралопитеки жили на открытых лесостепных пространствах, сходных с современной саванной. Масса их, по вычислениям ученых, была 36—55 кг.



Рис. 90. Австралопитеки

Австралопитеки не имели таких естественных органов защиты, как большая физическая сила крупных животных, мощные челюсти и клыки, острые когти; из-за двуногости они не обладали преимуществом быстрого бега. Использование природных предметов (камней, длинных костей крупных животных и т. д.) в качестве орудий, заменявших органы защиты и нападения, позволяло австралопитекам преодолевать свою беззащитность в условиях, где было трудно спрятаться от врагов. Изучение черепов австралопитеков показало, что объем их мозга значительно превышал объем мозга близких им по размерам тела шимпанзе.

Наиболее древняя находка австралопитека у озера Рудольф в Кении имеет возраст 5,5 млн. лет. Вероятно, в этот период у них формировалось прямохождение, совершенствовалась кисть. Со временем некоторые группы австралопитеков постепенно стали переходить от *использования* различных естественных предметов в качестве орудий к *изготовлению* орудий труда (наиболее древняя находка таких орудий у озера Рудольф имеет возраст 2,6 млн. лет).

Самые древние орудия изготавливались из дерева, рога, кости, камня (вулканической лавы, кварцита и особенно кремня).

История человечества начинается с появления орудий труда. Однако человек возник в результате длительного становления и развития трудовой деятельности, что мы видим, изучая древнейшие орудия труда. Стадия австралопитеков помогает восстановить один из самых важных моментов в эволюции — начало превращения животных в человека.

1. Какие особенности строения организма и образа жизни помогли древним двуногим обезьянам выжить в борьбв за существование?
2. Объясните, как развитие строения организма и изменение образа жизни у предков человека могли привести к возникновению качественной грани между обезьянами и древнейшими людьми.
3. Почему нельзя считать прямохождение вдинственным критерием очеловечивания?
4. Какие еще, на ваш взгляд, особенности были необходимы для выделения человека из мира животных?

§ 62. ПЕРВЫЕ ЛЮДИ

Древнейшие люди. Австралопитеки были связующим звеном между животным миром и первыми людьми.

Совсем недавно (60—70-е годы) в слоях, где были найдены австралопитеки, обнаружены останки существ, обладавших довольно крупным мозгом (800 см^3). В непосредственной близости от мест находки были обнаружены самые примитивные на Земле орудия труда из гальки. Поэтому некоторые ученые предложили считать обнаруженные существа первым видом людей — *человеком умелым* (рис. 91).

Одной из самых замечательных находок древнейших людей была знаменитая находка первого *питекантропа,* или *человека прямоходящего,* обнаруженного голландским исследователем Е. Дюбуа в 1891 г. Увлеченный идеями Дарвина, Дюбуа поехал на Яву, чтобы попытаться найти там «связующее звено» между человеком и обезьяной. Он сделал открытие, которое было оценено учеными как важнейшее доказательство правильности теории происхождения человека от высших обезьян. Уже в нашем веке на Яве найдены еще несколько питекантропов, в Китае — близкие к ним *синантропы* и т. д. Все они представляют собой различные географические варианты человека прямоходящего.

Древнейшие люди обладают сходными признаками. Массивная со скошенным подбородком челюсть сильно выступает вперед. На низком покатом лбу имеется надглазничный валик. Высота черепа по сравнению с современным человеком мала, но объем мозга варьирует в пределах 800—1400 см^3. Мозг древнейших людей, хотя и обладал некоторыми примитивными чертами, все же сильно отличался от мозга высших обезьян. У них намного лучше, чем у любой из обезьян, были развиты доли мозга, управляющие высшей нервной деятельностью. Левое полушарие мозга у питекантропов было больше, чем правое, что, по-видимому, как и у современных людей, связано с праворукостью. Наряду с добыванием растительной пищи, большую роль играла охота, о чем свидетельствуют находки в местах жизни древнейших людей костей мелких грызунов, оленей, медведей, диких лошадей, буйволов.

В пещере Чжоу-Гоу-Дянь, близ Пекина, где найдены остатки синантропов и их многочисленные каменные орудия, обнаружены и следы костров (угли, зола, обожженные камни). Скопление золы, достигавшее в отдельных местах шести-семиметровой толщины, показывает, что синантропы заселяли пещеру в течение длительного времени. Искусственно добывать огонь синантропы, по-видимому, еще не умели. Они, вероятно, получали его при лесных пожарах или извержении вулкана, а затем заботливо поддерживали и сохраняли не только из года в год, но и от поколения к поколению. Умение пользоваться огнем было огромным завоеванием человека. Оно позволило сделать пищу более усвояемой, способствовало лучшей защите от врагов и холода, расширению ареала древнейших людей, которые впервые стали создавать вокруг себя искусственную среду.

Мышление, хотя и в примитивной форме, использование огня и изготовление орудий стали главнейшими преимуществами древнейших людей в борьбе за существование.

На этом этапе эволюции человека мы впервые видим, как начинают проявляться новые, социальные закономерности, которые со временем стали главнейшими в существовании человеческого общества. Но наряду с зарождающимися социальными закономерностями продолжают действовать и прежние, биологические. Под контролем естественного отбора продолжают еще находиться многие физические особенности древнейших людей, связанные с даль-



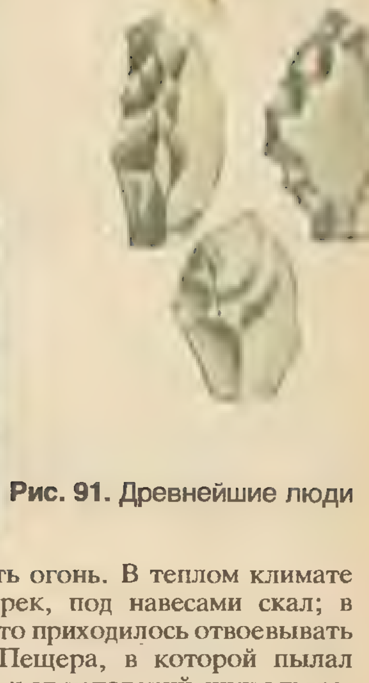


Рис. 91. Древнейшие люди

нейшим совершенствованием прямохождения, а также развитием мозга.

Естественный отбор сохранял, по-видимому, именно те группы древнейших людей, у которых быстрее и лучше развивались мышление, речь, трудовая деятельность.

Древние люди. Древнейших людей сменили древние люди, которых называют также *неандертальцами* (рис. 92). Ареал древних людей, как показывают многочисленные находки в Африке, Азии и Европе, достаточно велик. В находках часто встречаются каменные орудия, следы костров, кости убитых животных, иногда остатки скелетов древних людей.

Широкое распространение древних людей не только в областях с теплым благоприятным климатом, но и в суровых условиях подвергшейся обледенению Европы свидетельствует об их значительном по сравнению с древнейшими людьми прогрессе. Древние люди умели

не только поддерживать, но и добывать огонь. В теплом климате неандертальцы селились по берегам рек, под навесами скал; в холодном — в пещерах, которые им часто приходилось отвоевывать у пещерных медведей, львов, гиен. Пещера, в которой пылал костер, надежно защищала и от холода, и от нападений хищных зверей.

Древние люди по сравнению с древнейшими людьми представляли собой более прогрессивный тип человека. Объем их мозга равен объему мозга современного человека. У древних людей происходило дальнейшее развитие речи. О прогрессе мышления свидетельствуют и орудия неандертальцев: по форме они были довольно разнообразными и служили для самых различных целей (см. рис. 89, 91). С помощью изготовленных орудий древние люди охотились на животных, сдирали с них шкуры, разделывали туши, строили жилища.







Рис. 92. Стоянка неандертальцев

У древних людей отмечается возникновение элементарных социальных взаимоотношений, которые выражались в заботе о тех, кто из-за ран или болезней не мог самостоятельно добывать пищу. У неандертальцев впервые встречаются захоронения.

Коллективные действия уже в первобытном стаде древних людей играли решающую роль. В борьбе за существование победили те группы, которые успешно охотились и лучше обеспечивали себя пищей, заботились друг о друге, достигали меньшей смертности детей и взрослых, лучше преодолевали тяжелые условия существования. Умение изготовлять орудия труда, членораздельная речь, способность к обучению — эти качества оказались полезными и для коллектива в целом. Естественный отбор обеспечивал дальнейшее прогрессивное развитие многих признаков. В результате совершенствовалась биологическая организация древних людей. Но влияние социальных факторов на развитие неандертальцев становилось все сильнее.

? 1. Какие представители древнейших людей вам известны? Используя рисунок 91, охарактеризуйте их строение, особенности их жизни

▶ 2. Какие свойства древнейших и древних людей были наиболее важными в процессе их эволюции к современному человеку?

▶ 3. Постарайтесь разносторонне раскрыть значение огня в антропогенезе.

▶ 4. Какова роль изменчивости и естественного отбора в процессе эволюции человека?

§ 63. СОВРЕМЕННЫЕ ЛЮДИ

Ископаемые люди современного типа. Возникновение людей современного физического типа, сменивших древних людей, произошло относительно недавно, около 50 тыс. лет назад.

Остатки ископаемых людей современного типа обнаружены в Европе, Азии, Африке и Австралии. В гроте Кроманьон во Франции было обнаружено сразу несколько скелетов людей этого типа. По месту находки ископаемых людей современного типа называют *кроманьонцами* (рис. 93). В нашей стране уникальные находки этих людей сделаны около Воронежа и Владимира.

Ископаемые люди современного типа обладали всем комплексом основных физических особенностей, которые имеются и у наших современников. Их умственное развитие по сравнению с неандертальцами и тем более с человеком прямоходящим достигло высокого уровня. Об этом свидетельствуют не только объем и строение мозга, но и резкие изменения, происшедшие в их жизни. Кремневые орудия постепенно становились все более разнообразными и совершенными. Для изготовления орудий кроманьонцы стали широко использовать и более трудно обрабатываемые материалы: кость, рог. Разнообразие типов орудий из камня и кости (резцы, скребки, сверла, наконечники для дротиков, гарпуны, иглы) говорит о сложной трудовой деятельности, в результате которой зависимость от природы становилась все меньше и меньше. Изучение орудий труда кроманьонцев показывает, что уже в то время человек умел сшивать шкуры животных и изготавливать из них одежду, жилье. Все это делало человека менее зависимым от климатических условий. Именно поэтому люди начинают осваивать ранее недоступные для них районы земного шара, переносить неблагоприятные условия окружающей среды. На этом этапе произошло еще







Рис. 93. Кроманьонцы

одно крупное событие в жизни людей — возникло искусство. Рисунки первых художников, обнаруженные на стенах пещер, каменные и костяные скульптуры выполнены с удивительным для того времени мастерством. Всемирной известностью пользуется живопись Каповой пещеры (на Урале).

Человек — биологическое и социальное существо. Появление человека — огромный скачок в развитии живой природы. Человек возник в процессе эволюции под воздействием законов, общих для всех живых существ. Человеческий организм, как и все живые организмы, для поддержания жизнеспособности нуждается в пище и кислороде. Как и все живые организмы, он претерпевает изменения, растет, стареет, умирает. Поэтому тело человека, человеческий организм — область изучения биологических наук. Однако человеческий организм — это еще не человек в социальном смысле. Ребенок, полностью изолированный от остальных людей, не научится говорить, его мышление не разовьется. Человек становится человеком только тогда, когда он развивается и живет в обществе. Социальная среда, в которой находятся люди, налагает на них такой большой отпечаток, что человека невозможно изучать с позиций только биологических наук.

У человека возникает особая, не связанная с генетическими механизмами форма связи между поколениями — преемственность традиций, культуры, науки, знаний. Все это стало возможным благодаря развитию речи и письменности. Опыт, накопленный человеком в индивидуальной жизни, не исчезает вместе с ним, а вливается в общечеловеческую культуру.

На первых этапах эволюции гоминид отбор на бо́льшую приспособляемость к быстро меняющимся обстоятельствам имел решающее значение. Однако впоследствии способность человека передавать по наследству негенетические приобретения в виде разнообразной научной, технической и культурной информации по мере возрастания объема знаний все более выводила человека из-под жесткого контроля естественного отбора и усиливала зависимость от общества. Поэтому, изучая биологию человека, мы всегда должны помнить о том, что человек занимает совершенно особенное положение в природе и качественно отличается от других организмов. Человек одновременно и биологическое существо, и социальное. Игнорирование социальной роли и преувеличение биологической — серьезная научная ошибка.

1. На основании каких фактов ископаемых людей, живших примерно 50—40 тыс. лет назад, относят к виду Человек разумный?
2. Докажите положение о том, что человек — биологическое и социальное существо.
3. Обоснуйте необходимость для человека человеческого общества.
4. Почему социальность в эволюции человека ослабила действие биологических закономерностей?
5. Какие биологические факторы приложимы к эволюции человека на современном этапе?

§ 64. ЧЕЛОВЕЧЕСКИЕ РАСЫ. НЕСОСТОЯТЕЛЬНОСТЬ РАСИЗМА

Основные человеческие расы. В современном человечестве выделяют три основные расы: *европеоидную, монголоидную* и *негроидную.* Это большие группы людей, отличающиеся некоторыми физическими признаками, например чертами лица, цветом кожи, глаз и волос, формой волос (рис. 94).

Для каждой расы характерно единство происхождения и формирования на определенной территории.

К европеоидной расе относится коренное население Европы, Южной Азии и Северной Африки. Европеоиды характеризуются узким лицом, сильно выступающим носом, мягкими волосами. Цвет кожи у северных европеоидов светлый, у южных — преимущественно смуглый.

К монголоидной расе относится коренное население Центральной и Восточной Азии, Индонезии, Сибири. Монголоиды отличаются крупным плоским широким лицом, разрезом глаз, жесткими прямыми волосами, смуглым цветом кожи.

В негроидной расе выделяют две ветви — африканскую и австралийскую. Для негроидной расы характерны темный цвет кожи, курчавые волосы, темные глаза, широкий и плоский нос.

Расовые особенности наследственны, но в настоящее время они не имеют существенного значения для жизнедеятельности человека. По-видимому, в далеком прошлом расовые признаки были полезны для их обладателей: темная кожа негров и курчавые волосы, создающие вокруг головы воздушный слой, предохраняли организм от действия солнечных лучей, форма лицевого скелета монголоидов с более обширной носовой полостью, возможно, является полезной для обогрева холодного воздуха перед тем, как он попадает в легкие. По умственным способностям, т. е. способностям к познанию, творческой и вообще трудовой деятельности, все расы одинаковы.

Различия в уровне культуры связаны не







Рис. 94. Человеческие расы:

сверху вниз — негроидная, европеоидная, монголоидная

с биологическими особенностями людей разных рас, а с социальными условиями развития общества.

Реакционная сущность расизма. Первоначально некоторые ученые путали уровень социального развития с биологическими особенностями и пытались среди современных народов найти переходные формы, связывающие человека с животными. Эти ошибки использовали расисты, которые стали говорить о якобы существующей неполноценности одних рас и народов и превосходстве других, чтобы оправдать беспощадную эксплуатацию и прямое уничтожение многих народов в результате колонизации, захват чужих земель и развязывание войн. Когда европейский и американский капитализм пытался покорить африканские и азиатские народы, высшей была объявлена белая раса. Позднее, когда гитлеровские полчища шагали по Европе, уничтожая захваченное население в лагерях смерти, высшей была объявлена так называемая арийская раса, к которой фашисты причисляли германские народы. И хотя расисты пытаются обосновывать свою идеологию якобы «научными» данными, расизм ничего общего с истинной наукой не имеет. Расизм — это реакционная идеология и политика, направленная на оправдание эксплуатации человека человеком.

Несостоятельность расизма доказана настоящей наукой о расах — *расоведением*. Расоведение изучает расовые особенности, их происхождение, формирование и историю человеческих рас. Данные, полученные расоведением, свидетельствуют о том, что различия между расами недостаточны для того, чтобы считать расы различными биологическими видами людей. Смешение рас — метизация — происходило постоянно и всегда играло большую роль в становлении расовых типов. В результате постоянного смешения представителей различных рас на границах их ареалов возникают промежуточные типы, сглаживающие различия между расами. Расовая изменчивость в человечестве носит постепенный характер, и каких-либо «чистых», «высших» рас не существует вообще. Каждая из человеческих рас вносит вклад в освоение природы и создание мировой общечеловеческой культуры.

Опровержением расизма служит и то, что сейчас абсолютное большинство народов освободилось от колониальной зависимости.

1. Как вы объясните, используя учение Дарвина, возникновение человеческих рас?
2. Докажите, что все человеческие расы принадлежат к одному виду человека — Человеку разумному. Объясните, в чем несостоятельность расизма.
3. Подвержена ли эволюция человека действию отбора в настоящее время? Почему это происходит или не происходит?
4. Какие, на ваш взгляд, факторы будут определять дальнейшую эволюцию человека?

Раздел V
ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Глава XV.
ЭКОСИСТЕМЫ

§ 65. ПРЕДМЕТ ЭКОЛОГИИ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ

Живые организмы и их неживое окружение неразрывно связаны друг с другом и находятся в постоянном взаимодействии. Совместно живущие организмы различных видов обмениваются веществом и энергией между собой и окружающей их физической средой. Эта сеть вещественно-энергетических взаимосвязей объединяет живые организмы и окружающую их среду в сложные *экологические системы*.

Предмет экологии. *Экология* (от греч «ойкос» — жилище, убежище и «логос» — наука) — это *наука о взаимоотношениях живых организмов и среды их обитания*. Экология занимается отдельными особями, популяциями (состоящими из особей одного вида), сообществами (состоящими из популяций) и экосистемами (включающими сообщества и окружающую их среду). Экологи изучают, как среда влияет на живые организмы и как организмы воздействуют на среду. Исследуя популяции, экологи решают вопросы об отдельных видах, об устойчивых изменениях и колебаниях численности популяций. При изучении сообществ рассматривается их состав или структура, а также прохождение через сообщества энергии и вещества, т. е. то, что называется *функционированием сообществ*.

Экология занимает центральное место среди других биологических дисциплин и связана с генетикой, эволюционным учением, этологией (наука о поведении), физиологией.

Самая тесная связь существует между экологией и теорией эволюции. Благодаря естественному отбору в процессе исторического развития органического мира оставались лишь те виды, популяции и сообщества, которые в борьбе за существование выживали и приспосабливались к меняющейся среде обитания.

Понятие «экология» распространено очень широко. Под экологией в большинстве случаев понимают любое взаимодействие человека и природы или, чаще всего, ухудшение качества окружающей нас среды, вызванное хозяйственной деятельностью. В этом смысле экология касается каждого из членов общества.

Экология, понимаемая как качество окружающей среды, воздействует на экономику и определяется ею, вторгается в социальную

жизнь, влияет на внутреннюю и внешнюю политику государств и зависит от политики.

В обществе растет беспокойство по поводу экологического состояния окружающей среды и начинает формироваться чувство ответственности за состояние природных систем Земли. *Экологическое мышление,* т. е. анализ всех принимаемых хозяйственных решений с точки зрения сохранения и улучшения качества окружающей среды, стало абсолютно необходимым при разработке любых проектов освоения и преобразования территорий.

Экологические факторы. Природа, в которой обитает живой организм, является *средой его обитания.* Окружающие условия многообразны и изменчивы. Не все факторы среды с одинаковой силой воздействуют на живые организмы. Одни могут быть необходимы для организмов, другие, наоборот, вредны; есть такие, которые вообще безразличны для них. *Факторы среды, которые воздействуют на организм,* называют *экологическими факторами.*

По происхождению и характеру действия все экологические факторы разделяют на *абиотические,* т. е. факторы неорганической (неживой) среды, и *биотические,* связанные с влиянием живых существ. Эти факторы подразделяют на ряд частных факторов.

Экологические факторы

Факторы	
абиотические	биотические
Свет, температура, влага, ветер, воздух, давление, течения, долгота дня и т. д. Механический состав почвы, ее проницаемость, влагоемкость Содержание в почве или воде элементов питания, газовый состав, соленость воды	Влияние растений на других членов биоценоза Влияние животных на других членов биоценоза Антропогенные факторы, возникающие в результате деятельности человека

Биологический оптимум. Часто в природе бывает так, что одни экологические факторы находятся в изобилии (например, вода и свет), а другие (например, азот) — в недостаточных количествах. Факторы, снижающие жизнеспособность организма, называют *ограничивающими.* Например, ручьевая форель живет в воде с содержанием кислорода не менее 2 мг/л. При содержании в воде кислорода менее 1,6 мг/л форель гибнет. Кислород — ограничивающий фактор для форели.

Ограничивающим фактором может быть не только его недостаток, но и избыток. Тепло, например, необходимо всем растениям. Однако если продолжительное время летом стоит высокая температура, то растения даже при увлажненной почве могут пострадать из-за ожогов листьев.

Следовательно, для каждого организма существует наиболее подходящее сочетание абиотических и биотических факторов, оптимальное для его роста, развития и размножения. Наилучшее сочетание условий называют *биологическим оптимумом.*

Выявление биологического оптимума, знание закономерностей взаимодействия экологических факторов имеют большое практическое значение. Умело поддерживая оптимальные условия жизнедеятельности сельскохозяйственных растений и животных, можно повышать их продуктивность.

Приспособленность организмов к среде обитания. В процессе эволюции организмы приспособились к среде обитания. У них выработались специальные приспособления, позволяющие избежать или преодолеть действие неблагоприятного фактора. Например, растения пустыни могут переносить длительную засуху, так как они обладают различными приспособлениями к добыванию воды и уменьшению испарения. Одни растения имеют глубокие и разветвленные корневые системы, более эффективно поглощающие воду, другие (например, кактусы) — накапливают воду в тканях. У некоторых растений листья имеют восковой налет и поэтому меньше испаряют влагу. В сухой сезон многие растения уменьшают листовую поверхность, а отдельные кустарники сбрасывают все листья и даже целые ветки. Чем мельче листья, тем меньше испарение и тем меньше надо воды, чтобы выжить в жару и засуху.

Характерная черта приспособлений организмов — поселение в такой среде, где условия для жизнедеятельности ближе всего к их биологическому оптимуму. Организмы всегда приспосабливаются ко всему комплексу экологических факторов, а не к одному какому-либо фактору.

? 1. Какую роль различные абиотические факторы (температура, влажность) играют в жизни высших растений и животных?

▶ 2. Приведите примеры использования человеком знаний о взаимоотношениях организмов в своей практической деятельности.

▶ 3. Приведите примеры биологического оптимума для известных вам растений, животных, грибов.

▶ 4. Объясните, как изменения экологических факторов влияют на урожай.

§ 66. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОПУЛЯЦИЙ РАЗНЫХ ВИДОВ

В природе существуют сложные и очень разные связи между популяциями, так как все они вступают в те или иные пищевые и территориальные взаимоотношения. Невзаимодействующих популяций и видов в сообществе нет.

Конкуренция. Явление конкуренции мы уже разбирали, говоря о естественном отборе (см. § 44). Популяции, принадлежащие к разным видам, могут конкурировать между собой за жизненные ресур-

сы: воду и пищу, убежища, места кладки яиц и т. д. Конкуренция возникает в том случае, если различные виды обладают *сходными потребностями* к условиям жизни, пище, пространству. Такие отношения, угнетающие оба вида, возникают, например, между культурными растениями и сорняками. Конкуренция проявляется тем резче, чем более сходны потребности взаимодействующих видов. В результате конкуренции наименее приспособленные организмы погибают.

Хищничество. Связь жертвы и хищника — одна из самых тесных и распространенных связей в сообществе. *Хищничеством* называют такие *отношения, при которых особи одного вида поедают особей другого.* Например, растительноядные насекомые поедаются хищными насекомыми (хищные осы, жуки, муравьи). Мелкие хищные насекомые поедаются крупными (муравьиный лев поедает муравьев).

Хищничество возможно не только между животными, но и между животными и растениями. Так, насекомоядные растения (например, росянка) являются хищниками по отношению к насекомым.

Хищничество практически никогда не приводит к полному истреблению жертвы. Волки, например, ежегодно убивают лишь около 25% популяций оленей. Приблизительно такую же величину имеет прирост популяции оленей в результате размножения.

Хищники, истребляя наиболее ослабленных особей, поддерживают состав и численность популяции на оптимальном уровне. В результате взаимосвязи хищник — жертва в природе осуществляется естественный отбор.

Паразитизм. *Паразитизм — такая форма связи в популяциях, при которой паразит получает необходимые питательные вещества от организма хозяина,* принося ему обычно вред, но не вызывая немедленной гибели. Смерть хозяина привела бы и к гибели паразита. Совместная эволюция паразита и хозяина выработала некоторое равновесие между этими организмами, при сохранении которого выживают оба. А вот новые паразиты вызывают обычно резкое снижение численности или даже гибель популяции хозяев. Например, американский каштан обитал в горных лесах Северной Америки, имел своих паразитов и хищников и благополучно с ними сосуществовал. Произраставший в Китае каштан тоже имел своих паразитов, в том числе паразитический гриб, поражающий кору деревьев. Этот гриб случайно в 1904 г. был завезен в США. Популяции американского каштана оказались неустойчивыми к новому паразиту, и к 1952 г. все крупные деревья погибли.

Паразитами могут быть грибы, животные, растения. Растения-паразиты используют в качестве хозяев другие растения. Типичными растениями-паразитами являются повилика, заразиха и др. Повилика, например, почти полностью лишена способности к фотосинтезу и все необходимые ей питательные вещества получает от хозяина.

Симбиотические связи организмов. *Симбиозом* называют *такую форму существования популяций, при которой каждый вид извлекает пользу из связи с другим видом.* Примером симбиоза являются азотфиксирующие клубеньковые бактерии, которые снабжают растения органическим азотом, получая от них сахара. Лишайники — это симбиоз гриба и водорослей. Водоросли снабжают гриб сахарами и получают от гриба минеральные соли, которые тот извлекает из древесины, породы, почвы и др.

Организмы, входящие в симбиоз, настолько приспособлены к совместному существованию, что часто не могут жить самостоятельно, а если некоторые симбионты живут отдельно, то не выдерживают конкуренции с другими видами. Таким образом, симбиотические взаимоотношения организмов, возникшие в результате естественного отбора, могут иметь для выживания вида большее значение, чем конкуренция.

Самые различные взаимоотношения и их совокупность приводят в конечном счете к обеспечению продолжения жизни сообщества.

- ▶ 1. В чём заключается сущность явления конкуренции? Какова его биологическая роль?
- ▶ 2. Приведите примеры конкуренции между организмами вашей местности.
- ▶ 3. Какое биологическое значение в природе имеют взаимоотношения между хищником и жертвой?
- ▶ 4. Почему в процессе эволюции возникли симбиотические взаимоотношения организмов?
- ▶ 5. К каким последствиям может привести полное уничтожение хищников в сообществе?

§ 67. СООБЩЕСТВА (БИОЦЕНОЗЫ). БИОГЕОЦЕНОЗЫ

Понятие о сообществе и экосистеме. Группа популяций разных видов, населяющая определенную территорию, образует *сообщество.* Представление о любом ландшафте в первую очередь связывается с его растительностью. Тундра, тайга, листопадные леса, луга, степи, пустыни состоят из разнообразных растительных сообществ. Березовые леса отличаются от дубрав не только древесным составом, но и подлеском и травяным покровом. Каждое растительное сообщество населено свойственными ему сообществами животных, грибов и микроорганизмов.

Все сообщества растений, животных, микроорганизмов, грибов находятся в теснейшей связи друг с другом, создавая неразрывную систему взаимодействующих организмов и их популяций, — *биоценоз,* который также называют *сообществом.* Можно выделить сообщества любого размера и уровня. Например, в сообществе степей — сообщество луговых степей, а в нем — сообщества растений, позвоночных и беспозвоночных животных, микроорганизмов.

Среда и сообщества обмениваются веществами и энергией: из среды живые организмы поглощают вещества и энергию и возвращают их обратно в окружающую среду. Благодаря этим обменным процессам сообщество (биоценоз) и окружающая его среда пред-



Рис. 95. Биогеоценоз хвойного (*слева*) и смешанного лесов

ставляют собой неразрывное единство, одну сложную систему. Такую систему называют *экосистемой* или *биогеоценозом* (рис. 95). В последнее время термин «экосистема» употребляется чаще.

Функциональные группы организмов в сообществе. Любое сообщество состоит из совокупности организмов, которые по типу питания можно разделить на три функциональные группы. Зеленые растения — автотрофы. Они способны аккумулировать солнечную энергию в процессе фотосинтеза и синтезировать органические вещества. Автотрофы — это *продуценты*, т. е. *производители* органического вещества, первая функциональная группа организмов биоценоза.

Любое сообщество включает в себя также гетеротрофные организмы, которым для питания необходимы уже готовые органические вещества. Различают две группы гетеротрофов: *консументы*, или *потребители*, и *редуценты*, т. е. *разрушители*. К консументам относятся животные. Травоядные животные употребляют растительную пищу, а плотоядные — животную. К редуцентам относятся микроорганизмы — бактерии и грибы. Редуценты разлагают выделения животных, остатки мертвых растений, животных и микроорганизмов и другие органические вещества. Разрушители питаются органическими соединениями, образующимися при разложении. В процессе питания редуценты минерализуют органические отходы до воды, двуокиси углерода и минеральных элементов. Продукты минерализации вновь используются продуцентами.

Следовательно, в экосистеме пищевые и энергетические связи идут в направлении: продуценты → консументы → редуценты. Все три перечисленные группы организмов существуют в любом сообществе. В каждую группу входит множество популяций, населяющих экосистему. Только совместная работа всех трех групп обеспечивает функционирование экосистемы.

Примеры экосистем. Разные экосистемы отличаются друг от друга как по видовому составу организмов, так и по свойствам среды их обитания. Рассмотрим в качестве примеров листопадный лес и пруд.

В состав листопадных лесов входят буки, дубы, грабы, липы, клены, березы, осины, рябины и другие деревья, чья листва осенью опадает. В лесу выделяется несколько ярусов растений: высокий и низкий древесный, кустарников, трав и мохового напочвенного покрова. Растения верхних ярусов более светолюбивы и лучше приспособлены к колебаниям температуры и влажности, чем растения нижних ярусов. Кустарники, травы и мхи в лесу теневыносливы,



Рис. 96. Биогеоценоз листопадного леса

летом они существуют в полумраке, который образуется после полного развертывания листвы деревьев. На поверхности почвы лежит подстилка, состоящая из полуразложившихся остатков, опавшей листвы, веточек деревьев и кустарников, мертвых трав (рис. 96).

Фауна листопадных лесов богата. Много норных грызунов, землероющих насекомоядных, хищников (лисица, барсук, медведь). Встречаются млекопитающие, живущие на деревьях (рысь, белка, бурундук). В группу крупных травоядных входят олени, лоси, косули. Широко распространены кабаны. Птицы гнездятся в различных ярусах леса: на земле, в кустарниках, на стволах или в дуплах и на вершинах деревьев. Много насекомых, которые питаются листьями (например, гусеницы) и древесиной (короеды). В подстилке и верхних горизонтах почвы обитает громадное количество безпозвоночных животных (дождевые черви, клещи, личинки насекомых), грибов и бактерий.

Пример экосистемы, где средой жизни организмов служит вода, — известные всем пруды. На мелководье прудов поселяются укореняющиеся или крупные плавающие растения (камыш, кувшинки, рдесты). По всей толще воды на глубину проникновения света распространены мелкие плавающие растения, в основной массе водоросли, называемые *фитопланктоном*. Когда водорослей много, вода становится зеленой, как говорят, «цветет». В фитопланктоне много сине-зеленых, а также диатомовых и зеленых водорослей, к которым принадлежат и нитчатые зеленые водоросли.

Личинки насекомых, головастики, ракообразные, растительноядные рыбы питаются живыми растениями или растительными остатками, хищные насекомые и рыбы поедают разнообразных мелких животных, а крупные хищные рыбы охотятся и за растительноядными и за хищными, но более мелкими рыбами.

Организмы, разлагающие органические вещества (бактерии, жгутиковые, грибы), распространены по всему пруду, но особенно их много на дне, где накапливаются остатки мертвых растений и животных.

Мы видим, как непохожи и по внешнему виду, и по видовому составу популяций экосистемы леса и пруда. Среда обитания видов разная: в лесу — воздух и почва; в пруду — воздух и вода. Однако функциональные группы живых организмов однотипны. Продуценты в лесу — деревья, кустарники, травы, мхи; в пруду — плавающие растения, водоросли и сине-зеленые. В состав консументов в лесу входят звери, птицы, насекомые, беспозвоночные животные (последние населяют почву и подстилку). В пруду к консументам относятся насекомые, разные земноводные, ракообразные, растительноядные и хищные рыбы. Редуценты (грибы и бактерии) представлены в лесу наземными, пруду — водными формами.

Эти же функциональные группы организмов существуют во всех наземных (тундры, хвойные и лиственные леса, степи, луга, пустыни) и водных (океаны, моря, озера, реки, пруды) экосистемах.

? 1. Дайте определение сообщества, *биогеоценоза, продуцентов, редуцентов, консументов*. Приведите примеры биогеоценозов (экосистем) вашей местности.

2. Перечислите важнейшие компоненты экосистемы и раскройте роль каждого из них.

3. Как и почему изменится жизнь дубравы в тех случаях, если там: а) вырубили весь кустарник; б) химическим способом уничтожили растительноядных насекомых?

§ 68. ПОТОК ЭНЕРГИИ И ЦЕПИ ПИТАНИЯ

Поток энергии. Для осуществления любых жизненных процессов необходима энергия. Единственным источником энергии для зеленых растений является Солнце.

Солнечная энергия, падающая на фотосинтезирующие органы растений, аккумулируется во вновь образующихся органических соединениях. Эта энергия используется продуцентами по-разному. Часть ее тратится на дыхание, т. е. на биологическое окисление (см. § 11), часть запасается в виде вновь возникшей биомассы. *Биомасса — это масса организмов определенной группы или сообщества в целом.*

Некоторую долю созданной продуцентами биомассы съедают травоядные животные. Хищники потребляют травоядных животных и получают долю энергии. Бóльшая часть энергии, полученная консументами с пищей, тратится на процессы, происходящие в клетках, а также выводится с продуктами жизнедеятельности в окружающую среду. Меньшая часть энергии идет на увеличение массы тела, рост и размножение.

Часть биомассы продуцентов, не съеденная животными, отмирает, и с отмершей биомассой аккумулированная в ней энергия поступает в почву в виде растительного опада.

Растительный и животный опад (трупы + экскременты) — пища редуцентов. Определенное количество энергии запасается в биомассе редуцентов, а часть рассеивается (энергия дыхания). Редуценты отмирают, и их клетки также разлагаются. Из продуктов разложения строятся органические вещества почвы. В этих соединениях запасается энергия, которая частично тратится затем на процессы разрушения минеральных соединений.

Таким образом, энергия аккумулируется на уровне продуцентов, проходит через консументы и редуценты, входит в состав органических веществ почвы и рассеивается при разрушении ее разнообразных соединений.

Разобранный пример относится к наземным экосистемам. Подобным же образом происходят процессы и в водных экосистемах. Через любую экосистему проходит поток энергии, определенная часть которой используется каждым живым существом.

Цепи питания. Перенос энергии от ее источника (растений) через ряд организмов называют *пищевой цепью*. Все живые орга-

низмы связаны между собой энергетическими отношениями, поскольку являются объектами питания других организмов. Травоядные животные (потребители первого порядка) поедают растения, первичные хищники (потребители второго порядка) поедают травоядных, вторичные хищники (потребители третьего порядка) поедают хищников помельче. Таким образом создаются пищевые цепи из продуцентов и консументов, которые на разных этапах, как это было показано в § 67, смыкаются с сообществом редуцентов (рис. 97).

Пищевые цепи разделяют на два типа. Один тип пищевой цепи начинается с растений и идет к растительноядным животным и далее к хищникам. Это так называемая *цепь выедания (пастбищная).* Другой тип начинается от растительных и животных остатков,

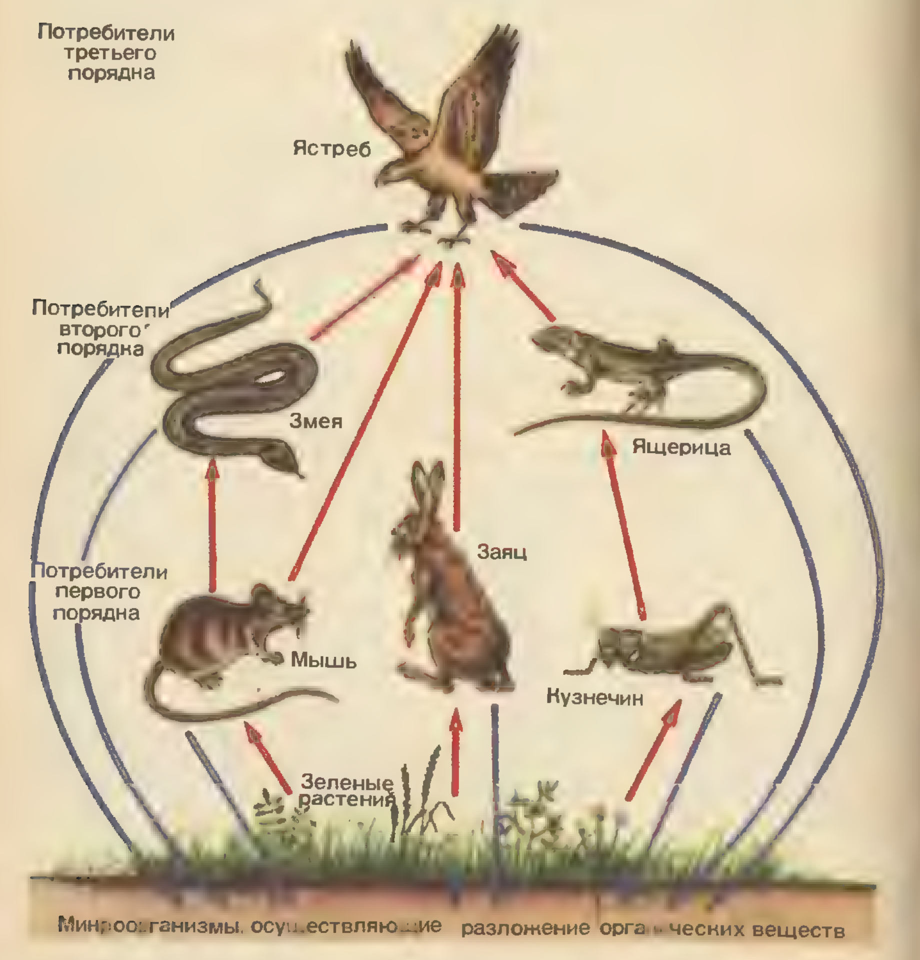


Рис. 97. Пищевые цепи в наземных экосистемах

экскрементов животных и идет к мелким животным и микроорганизмам, которые ими питаются. В результате деятельности микроорганизмов образуется полуразложившаяся масса — детрит. Такую цепь называют *цепью разложения (детритной).*

На суше пищевые цепи первого типа состоят обычно из 3—5 звеньев, например: растения → овца → человек — трехзвенная цепь; растения → кузнечики → ящерицы → ястреб — четырехзвенная цепь; растения → кузнечики → лягушки → змеи → орел — пятизвенная цепь. Через пищевые цепи биогеоценозов суши подавляющее количество прироста растительной биомассы поступает через опад в цепи разложения.

В морях распространены такие типы цепей: фитопланктон → →рыбы → хищные птицы; фитопланктон → мелкие ракообразные → рыбы, питающиеся мелкими рачками и ракообразными → хищные рыбы → хищные птицы. В водных сообществах бóльшая часть биомассы, накопленной одноклеточными водорослями, проходит через цепь выедания и значительно меньшая включается в цепь разложения (рис. 98).

Все типы пищевых цепей всегда существуют в сообществе таким образом, что член одной цепи является также членом другой. Соединение цепей образует *пищевую сеть* экосистемы. Угнетение или разрушение любого звена экосистемы с неизбежностью отразится на экосистеме в целом. Поэтому вмешиваться в жизнь экосистем надо с большой осторожностью и осмотрительностью.

Экологическая пирамида. Пищевые сети внутри каждой экосистемы имеют хорошо выраженную структуру. Она характеризуется количеством и размером организмов на каждом уровне цепи питания. При переходе с одного пищевого уровня на другой численность особей уменьшается, а их размер увеличивается. Например, в приведенной выше четырехзвенной цепи на 1 га травяной экосистемы насчитывается около 9 млн. растений (первый пищевой уровень), свыше 700 тыс. растительноядных насекомых (второй уровень), больше 350 тыс. хищных насекомых и пауков (третий уровень) и всего три птицы (четвертый уровень). Как мы видим, образуется *пирамида чисел,* основание которой в 3 млн. раз шире, чем вершина.

Только часть энергии, поступившей на определенный уровень биоценоза, передается организмам, находящимся на более высоком пищевом уровне. С уровня на уровень переходит около 10% энергии. Можно подсчитать, что энергия, которая доходит до пятого уровня (например, до орла в цепи: растения → кузнечики → лягушки → змеи → орел), составляет всего 0,01% энергии, поглощенной продуцентами. Таким образом, оказывается, что передача энергии с одного пищевого уровня на другой происходит с очень малым КПД. Это объясняет уменьшение числа и массы организмов на каждом последующем уровне и ограниченность количества звеньев в пищевой цепи.

Продукция экосистем. Любая экосистема характеризуется двумя важными параметрами — *биомассой* и ее *приростом* за год, т. е. урожаем. Прирост биомассы, созданной за единицу времени, назы-



Рис. 98. Пищевые цепи в океане

вают *продукцией экосистемы.* Экосистемы суши имеют различную биомассу и продукцию. Самой низкой биомассой растений и продукцией обладают тундры и пустыни, самой высокой — тропические дождевые леса. В тундре растениям не хватает тепла, в пустыне — воды. В лесном поясе тропиков много тепла и влаги. В открытом океане биомасса водорослей очень мала (продукция 1—2 т/га в год): их рост ограничен недостатком питательных элементов. Там, где питательных веществ много, например в прибрежных областях, биомасса значительно выше.

В целом, несмотря на то что океан занимает 71% площади нашей планеты, его продукция в 3 раза, а биомасса водорослей в 10 тыс. раз меньше, чем продукция и биомасса растений суши. Такая громадная разница биомассы растений суши и океана объясняется следующей причиной. Основные продуценты суши — деревья, а океана — мелкие одноклеточные водоросли. Деревья растут медленно (низкий прирост), а живут долго, их биомасса накапливается за десятки и сотни лет. Водоросли в океане быстро размножаются. За год их поколения могут смениться десятки и сотни раз. Практически каждый день в океане создается масса водорослей, равная их запасу. Однако растительноядные консументы океана очень быстро (на 60—90%) поедают продуцентов. Устанавливается равновесие между прибылью и убылью продуцентов, и запас их постоянно остается низким.

Количественный учет потоков энергии и продуктивности биогеоценоза имеет большое практическое значение. Точный расчет потока энергии и продуктивности позволяет регулировать в экосистемах выход выгодной для человека биомассы живых организмов и хорошо представлять допустимые пределы ее изъятия.

Таким образом, рассмотрев поток энергии в биогеоценозах и цепи питания, мы увидели, что в сообществе живых организмов от звена к звену циркулируют основные питательные элементы и энергия. Автотрофы, аккумулируя солнечную энергию, потребляя углекислый газ и элементы минерального питания, создают органические вещества, которые служат пищей гетеротрофам. Гетеротрофы, разрушая органические вещества, обеспечивают себя энергией и освобождают элементы питания для автотрофов. В циркуляцию веществ и энергии включены не только живые организмы, но и среда их обитания.

? 1. Откуда организмы получают энергию и как они ее расходуют?
? 2. Как связаны в потоке энергии продуценты и консументы?
? 3. Что является источником энергии для редуцентов?
▶ 4. В чем разница между продуцентами суши и океана?
▶ 5. Приведите пример экологической системы вашей местности и охарактеризуйте ее.
▶ В средних широтах приток солнечной энергии за год $3{,}8 \cdot 10^{10}$ кДж/га. Один гектар леса производит за год 10 тыс. кг древесины и листьев. В каждом грамме производимых веществ заключено в среднем 19 кДж. Сколько процентов падающей энергии использует лес?
○ Повторите § 22.

§ 69. СВОЙСТВА БИОГЕОЦЕНОЗОВ

Биогеоценоз — целостная самовоспроизводящаяся система. Сообщество живых организмов и абиотическая среда влияют друг на друга, обе части биогеоценоза необходимы для поддержания жизни. Абиотические факторы регулируют существование и жизнедеятельность популяций. В то же время эти факторы находятся под постоянным влиянием самих живых организмов. Важные для жизни химические элементы (C, H, O, N, P) и органические соединения (углеводы, белки, жиры) образуют непрерывный поток между живым и неживым: потребление и выделение углекислого газа, кислорода, воды, образование и разложение растительного и животного опада, образование почвенных органических соединений. Живые организмы черпают из среды жизненные ресурсы (например, кислород из атмосферы в процессе дыхания и углекислый газ в процессе фотосинтеза). Они поставляют в среду продукты жизнедеятельности (например, кислород в процессе фотосинтеза и углекислый газ в процессе разложения органических веществ и дыхания). Солнечная энергия аккумулируется зелеными растениями и передается организмам всех популяций, населяющих биогеоценоз.

Потоки энергии и вещества, связывающие живые организмы друг с другом и средой их обитания, обеспечивают целостность биогеоценозов. Способность организмов к размножению, наличие в среде пищи и энергии, необходимых для роста, развития и размножения, также воссоздание среды обитания живыми организмами — условия самовоспроизводства биогеоценозов (экосистем).

Устойчивость. Сложившиеся в ходе эволюции биогеоценозы находятся в равновесии со средой и проявляют *устойчивость*. Устойчивость — это свойство сообщества и экосистемы выдерживать изменения, создаваемые внешними воздействиями. Например, если количество осадков понизилось на 50% по сравнению со средним количеством за много лет, а количество органического вещества, созданного продуцентами, упало лишь на 25%, численность травоядных консументов — только на 10%, то можно сказать: эта экосистема устойчива.

Способность организмов переносить неблагоприятные условия и высокий потенциал размножения обеспечивают сохранение популяций в экосистеме, что гарантирует ее устойчивость.

Саморегуляция. Поддержание определенной численности популяций основано на взаимодействии организмов в звеньях хищник — жертва, паразит — хозяин на всех уровнях пищевых цепей. Если по каким-либо причинам один из членов пищевых цепей исчезает, то виды, питавшиеся в основном исчезнувшим видом, начинают в бóльшем количестве поедать ту пищу, которая раньше была для них второстепенной. Вследствие подобной замены пищи численность видов-потребителей сохраняется.

Массовое размножение вида в биогеоценозе регулируется *прямыми* и *обратными связями*, существующими в пищевых цепях. Нередко благодаря хорошим погодным условиям создается высокий урожай растений, которыми питается определенная популяция травоядных животных. В связи с хорошим питанием численность популяций возрастает. Травоядные сами могут быть пищей для хищников. Чем многочисленнее жертвы, тем более обеспечен едой хищник и тем интенсивнее он размножается. Следовательно, чем больше в нынешнем году жертв, тем больше на следующий год будет хищников. Возрастание количества хищников приводит к снижению численности жертв. Снижение численности жертв ведет к тому, что размножение хищника замедляется, и количество хищника и жертвы возвращается к нормальному — исходному соотношению.

Колебания количества растительной пищи, травоядных животных и хищников, питающихся этими животными, сопряжены друг с другом. Классический пример — циклы изменения численности леммингов в тундре. Раз в несколько лет на огромной территории тундры их численность резко возрастает, вслед за тем, часто за один сезон, столь же резко падает. В соответствии с этим численность песцов, лис и сов, питающихся леммингами, либо увеличивается, либо уменьшается.

Колебания численности леммингов связаны с их кормовой базой. В годы повышения численности леммингов они сильно объедают растительность. Большое количество частей растений, содержащих питательные элементы, поступает в детрит. На следующий год из-за значительного повреждения растительного покрова пищи стано-

вится меньше и питательная ценность ее уменьшается. В связи с этим рост и выживание молодых леммингов снижается. Год становится малокормным для хищников и они почти не размножаются.

В течение последующих лет растительные остатки, богатые питательными веществами, минерализуются; питательные элементы поглощаются растениями; количество пищи леммингов и ее питательная ценность возрастают; численность леммингов вновь стремительно идет вверх; хищники, хорошо кормясь, начинают быстро размножаться. Таким образом, в биогеоценозе популяции организмов взаимно ограничивают свою численность, благодаря чему данная экосистема существует длительное время.

Каково значение саморегуляции численности, мы понимаем особенно хорошо, сталкиваясь с явлениями, когда саморегуляция нарушается. Это обычно происходит в тех случаях, когда человек нарушает сложившуюся структуру сообществ. Примером может служить история с кроликами в Австралии.

Когда человек из Европы стал переселяться на другие континенты, он повез с собой и домашних животных, в том числе кроликов. В 1859 г. на одной из ферм Австралии выпустили 12 пар привезенных зверьков. В биогеоценозах Австралии было слишком мало хищников, чьей пищей могли бы быть кролики. Через 40 лет численность кроликов достигла нескольких сот миллионов особей. Они расселились почти по всему континенту, разоряя луга и пастбища, выедая проростки местной сосны, и нанесли урон экономике страны.

Таким образом, численность особей в природных экосистемах саморегулируется. Нарушение естественных цепей питания под воздействием антропогенного фактора, неразумное вмешательство в экосистемы может привести к неконтролируемому росту численности особей отдельных популяций и к нарушению природных экологических сообществ.

1. Любой биогеоценоз — устойчивая система, так как в ней существует равновесие между приходом и расходом необходимых веществ и энергии. Подумайте, каким образом загрязнение токсическими веществами или тепловое загрязнение может нарушить это равновесие.
2. Как осуществляется саморегуляция биогеоценоза?
3. Почему на границах государств существует санитарно-биологический контроль?

§ 70. СМЕНА ЭКОСИСТЕМ

Биогеоценоз не существует вечно. Рано или поздно он сменяется другим. Смены происходят под влиянием изменения среды самими живыми организмами, при смене климатических условий, в процессе эволюции жизни на Земле, под влиянием человека.

Саморазвитие и смена экосистемы. Как пример изменения среды под влиянием самих живых организмов рассмотрим заселение расти-

тельностью скальных пород. На первых стадиях заселения большое значение имеет выветривание горных пород: разрушение, частичное растворение и изменение химических свойств минералов.

Уже на самых начальных стадиях велика роль первых поселенцев: бактерий, сине-зеленых, водорослей, накипных лишайников. Сине-зеленые, свободноживущие водоросли и водоросли в составе лишайников являются продуцентами — создателями органического вещества. Многие сине-зеленые фиксируют из воздуха азот и обогащают им среду, еще мало пригодную для жизни. Лишайники выделениями органических кислот растворяют скальную породу и способствуют накоплению элементов минерального питания. Бактерии и грибы разрушают органические вещества, созданные продуцентами.

Органические вещества минерализуются не полностью. Постепенно накапливается смесь из различных органических и минеральных соединений и растительных остатков, обогащенных азотом. Создаются условия для поселения мхов и кустистых лишайников. Процесс накопления органического вещества и азота ускоряется, формируется тонкая почвенная прослойка.

Образуется примитивное сообщество, способное существовать в неблагоприятной обстановке.

Первые поселенцы хорошо приспособлены к суровым условиям голых скал — они выдерживают и сушь, и жару, и мороз. Медленно, но неуклонно они изменяют среду своего обитания и тем самым создают условия для внедрения других популяций. С приходом травянистых растений (осоки, злаки, клевер, колокольчик и др.) конкуренция за воду, свет, питательные элементы ужесточается. Пионеры-поселенцы в этой борьбе вытесняются новыми пришельцами. За травами поселяются кустарники, которые скрепляют корнями образующуюся почву. Травяно-кустраниковые сообщества сменяются лесными.

В ходе длительного развития и смены экосистемы число видов живых организмов, входящих в нее, постепенно растет. Сообщество становится более сложным, его пищевая сеть все более разветвленной. Разнообразие связей между организмами увеличивается, сообщество все полнее использует ресурсы среды. Наступает этап зрелого сообщества, наиболее хорошо приспособленного к окружающим условиям и обладающего саморегуляцией. Популяции видов в зрелом сообществе хорошо воспроизводятся и не замещаются другими видами.

Описанная смена экосистем длится тысячи лет. Однако есть смены, протекающие на глазах одного поколения людей: зарастание мелких водоемов, восстановление лесов после пожара, восстановление степных экосистем после их распашки и др.

Смена экосистем под влиянием биотического (антропогенного) фактора. Мощным фактором изменения экосистем является хозяйственная деятельность человека. Воздействие человека на природные экосистемы началось давно. Оно все время усиливалось вместе с увеличением населения Земли. В последнем столетии в связи с

быстрым развитием промышленности, сельского хозяйства, ростом городов влияние человека приобрело решающее значение.

Большие изменения происходят, например, в «зеленых зонах» вокруг городов, которые используются для отдыха горожан. Растительность такой территории постоянно вытаптывается людьми, гуляющими по лесу, собирающими ягоды и грибы. Надземные органы растений травмируются, почва уплотняется, снижается ее способность к удержанию влаги. Все эти факторы отрицательно влияют на лесные травы, у которых корневища располагаются прямо под лесной подстилкой.

Сильное вытаптывание повреждает подрост деревьев. У кустарников и взрослых деревьев начинают сохнуть верхушки, они легко поражаются грибными заболеваниями и вредителями. В результате лес изреживается, осветляется (рис. 99). Создаются благоприятные условия для внедрения луговых трав, которые светолюбивы и



Рис. 99. Влияние антропогенного фактора на изменение природного березового леса

меньше боятся вытаптывания, так как образуют дернину. Лесные травы становятся неконкурентоспособными и выпадают из травостоя.

Очень сильно изменяет луговые, степные и пустынные экосистемы интенсивный выпас скота. Животные поедают определенные виды трав, что приводит к распространению непоедаемых растений. На пастбищах разрастаются чемерица, щавель, синеголовник, полынь. Снижается обилие ценных в кормовом отношении злаков. Многие растения не успевают зацвести и дать семена. Уменьшается количество видов, упрощается сообщество. Многолетние травы замещаются однолетними растениями, корневые системы которых развиты слабее. Почва, не сдерживаемая корнями, начинает размываться потоками воды или развеваться ветром. Разрушение почвы приводит к обеднению среды питательными элементами и водой, что резко ухудшает условия жизни растений и снижает их продуктивность. Богатые разнотравные высокопродуктивные луга и степи при неумеренном выпасе превращаются в бедные пустоши.

Смена биогеоценозов под воздействием антропогенного фактора самая быстрая. Она происходит за несколько лет, а часто скачком. К таким скачкообразным сменам относятся вырубка лесов, распашка земель с созданием агроценозов, строительство водохранилищ, когда сухопутные экосистемы превращаются в водные.

Смена экосистем под влиянием абиотических факторов. Климат земного шара неоднократно менялся. При потеплении в экосистемах вследствие естественного отбора начинали преобладать более теплолюбивые виды растений, животных и микроорганизмов, при похолодании — холодоустойчивые. Периоды с малым количеством осадков характеризовались увеличением численности организмов, устойчивых к недостатку влаги. Периоды с обильными атмосферными осадками приводили к расцвету организмов с повышенными требованиями к содержанию влаги.

При климатогенных сменах экосистем в результате естественного отбора численность одних видов организмов сокращается, сокращается их ареал, они испытывают биологический регресс. Другие виды, оказавшиеся более устойчивыми в борьбе за существование, увеличивают численность, расширяют ареал обитания, т. е. испытывают биологический прогресс.

1. Подумайте, почему на старых зданиях можно увидеть лишайники, мхи, березы.
2. Какой пример смены экосистем под воздействием антропогенного фактора вы наблюдали?
3. Какие меры по охране экосистем осуществляются в вашей местности?

○ Повторите § 45.

§ 71. АГРОЦЕНОЗЫ

Структура агроценоза. Леса, тундры, степи, пустыни, реки, моря и т. д. — естественные экосистемы. Поля, огороды, сады, парки, лесные насаждения, пастбища — созданные человеком экосистемы. Их называют *агроценозами.*

Агроценозы — такие экосистемы, структуру и функцию которых создает, поддерживает и контролирует человек в своих интересах.

Пример агроценоза — поле пшеницы. Его растительный покров состоит в основном из растений пшеницы с примесью сорняков. Животных значительно меньше, чем в естественных экосистемах, но они есть (личинки мух, жуки, дождевые черви и др.). Иногда резко повышается численность насекомых вредителей. Живут в норках полевки, за ними охотятся немногочисленные лисы, прилетают зерноядные и хищные птицы. Осенью урожай зерна с поля вывозят. На поле остаются солома и корневые остатки, которые разлагаются грибами и бактериями, населяющими почву.

В агроценозе, как и в любой природной экосистеме, существуют те же самые группы организмов: продуценты, консументы и редуценты. В агроценозе пшеничного поля продуцентами являются растения пшеницы и сорняков. Насекомые, птицы, полевки, лисы поедают растения или животных, т. е. принадлежат к консументам. Грибы и бактерии минерализуют органические вещества, выполняя работу редуцентов. В агроценозе складываются пищевые цепи, как и в природной экосистеме. Обязательным звеном этой пищевой цепи является человек, возделывающий поля и собирающий урожай зерна.

Энергия и питательные вещества, аккумулированные растениями, проходят по всей пищевой цепи агроценоза. Часть энергии растрачивается в процессе дыхания организмов, часть ее выносится вместе с зерном из агроценоза, часть закрепляется в органическом веществе почвы. Питательные вещества частично удаляются с урожаем, частично возвращаются в почву. Как видно из этого описания, структура и функции сообщества в агроценозе и естественном биогеоценозе похожи. Агроценоз является такой же сложной экологической системой, как лес или луг.

Отличия агроценоза от биогеоценоза. Однако между агроценозом и биогеоценозом имеются и большие различия. Первое различие состоит в разном направлении отбора. Естественный отбор, отметая неустойчивые, нежизненные формы организмов и их сообществ в биогеоценозе, формирует основное его свойство — устойчивость. В условиях недостаточного обеспечения растений светом, теплом, влагой, питательными элементами выживают только конкурентоспособные виды. Выжить в сообществе — это значит пройти жизненный цикл и оставить потомство.

В агроценозах действие естественного отбора ослаблено. Здесь действует искусственный отбор. Человек направляет отбор прежде всего на повышение урожайности сельскохозяйственных культур. В

биогеоценозе естественный отбор направлен на создание организмов, устойчивых к действию неблагоприятных факторов среды. В агроценозах человек путем искусственного отбора создает организмы с максимальной продуктивностью. Следовательно, в биогеоценозах и агроценозах действуют различные формы отбора.

Второе отличие агроценоза от биогеоценоза заключается в использовании энергии. Биогеоценозы используют единственный источник энергии — Солнце. Агроценозы получают наряду с солнечной энергией дополнительную энергию, которую вносит человек. Чтобы получить удобрения, препараты против вредителей и сорняков, чтобы провести искусственный полив или осушить заболоченные почвы, надо затратить энергию. Агроценозы могут существовать и обеспечивать человека урожаем только при такой дополнительной затрате энергии.

Самое существенное различие между биогеоценозами и агроценозами заключается в балансе питательных элементов. В биогеоценозе все элементы, потребленные растениями, со временем возвращаются в почву. Из агроценозов часть питательных элементов, в первую очередь таких важных для жизни, как азот и фосфор, выносится с урожаем. Чтобы возместить потери, человек постоянно вносит в почву агроценозов минеральные и органические удобрения.

Природные биогеоценозы — саморегулирующиеся экосистемы, агроценозы регулируются человеком. Для того чтобы получить урожай и сохранить агроценоз, человек контролирует и изменяет влияние природных факторов, орошая засушливые земли и осушая переувлажненные. Он борется с сорняками и вредителями сельскохозяйственных культур, создавая преимущества лишь для посеянных или посаженных им растений. Он меняет сорта, добиваясь все более высоких и устойчивых урожаев, и применяет удобрения для поддержания и повышения плодородия почвы.

Если агроценоз не поддерживать, то он быстро разрушится и исчезнет. Культурные растения не выдержат конкуренции с дикими видами и будут вытеснены. На месте агроценоза в засушливом климате возникнет степь, в более холодном и влажном — лес.

Агроценозы производят ежегодно около 2400 млн. т сельскохозяйственной продукции. Около половины этого количества составляют пшеница, рис, кукуруза, картофель. Агроценозами занято 10% суши Земли. Освоение новых земель потребует значительных затрат труда и средств, так как наиболее удобные для земледелия почвы уже распаханы человеком.

1. Какие, на ваш взгляд, глобальные изменения на нашей планете могут возникнуть в связи с увеличением площади агроценозов? Как их можно предотвратить?
2. Приведите примеры агроценозов, выделив продуценты, консументы, редуценты.
3. Действует ли борьба за существование на полях, распространяется ли она на породы животных, выращиваемых на фермах, в зверосовхозах и т. д.?

§ 72. ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ В ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Биологические методы борьбы с вредителями. Для борьбы с вредителями сельскохозяйственных растений и с сорняками у нас в стране и во всем мире применяются органические синтезированные соединения, которые называют пестицидами. Все пестициды ядовиты для тех или иных организмов и способны вызывать их быстрое отравление и гибель. Пестициды позволили решить во многих случаях проблемы защиты растений: например, численность мигрирующей саранчи сейчас успешно контролируется. Если численность ее популяции начинает резко возрастать, то эти места обрабатывают пестицидом и тушат опасный очаг. Однако применение пестицидов сопровождается многими нежелательными последствиями. Они оказывают часто губительное действие не только на вредителя, но и на многие другие организмы, в том числе и на естественных врагов этого вредителя. Нарушается биологическое равновесие и саморегуляция численности особей в биоценозе.

Загрязнение окружающей среды и нарушение экологического равновесия побудило ученых разработать новые способы борьбы с вредителями. Такими способами являются биологические методы борьбы. *Биологическими методами* называют приемы сокращения численности нежелательных в хозяйстве организмов с помощью других видов. Сократить численность вредителя можно повышением его смертности или снижением рождаемости. Именно такой метод применили в борьбе с кроликами в Австралии. Популяцию кроликов заразили одним из вирусов, близких к вирусу оспы, который был обнаружен у южноамериканских кроликов. При первой же эпидемии в зараженных популяциях погибло 99,8% кроликов, что на определенный срок снизило их численность.

В прошлом веке вредитель фруктовых садов — австралийская щитовка случайно попала из Австралии в Северную Америку, а затем в Европу. Численность этого вредителя резко возросла, поскольку он не имел естественных врагов в новом для него местообитании. Уничтожить щитовку удалось только после внедрения в Европе и Америке ее природного врага — божьей коровки.

Можно вести биологическую борьбу не только с насекомыми, но и с растениями-сорняками. Кактус опунция попал в Австралию как комнатное растение. Проникновение его из цветочного горшка в природные условия сопровождалось таким буйным размножением, что кактус занял миллионы гектаров пахотных и пастбищных земель. Он стал настоящим бедствием Австралии. Покончить с ним удалось также биологическими методами борьбы. В начале 30-х годов из Аргентины ввезли бабочек, гусеницы которых питаются опунцией. Гусеницы справились с кактусом за короткое время.

Применение экологических знаний в лесоводстве. Лесной покров нашей планеты постоянно уменьшается, так как вырубка древесины превышает ее годовой прирост. Рационально использовать лесные богатства означает вырубать не больше того количества древесины,

которое прирастает. По мере исчезновения природных лесов все больше распространяются искусственные лесные насаждения. Перед лесным хозяйством стоит вопрос: что лучше — искусственный лес из одной культуры (монокультура), смешанные посадки или естественный лес? Монокультура выгоднее в хозяйственном отношении. При использовании она может давать больший годовой прирост древесины и удобнее в эксплуатации.

Однако лес — это не только древесина. Он выполняет много других полезных функций. Лес — местообитание диких животных, защита воздуха, воды и почвы, место отдыха для человека и т. д. Всем этим целям удовлетворяют естественные леса, которые дают хотя и низкие, но непрерывные урожаи древесины, а кроме древесины — ягоды, орехи, грибы, целебные травы.

Следовательно, самое оптимальное — создать такую структуру, в которую входили бы и леса, и посадки. Соотношение между этими типами лесных древостоев, подбор площадей для посадок, стратегия рубок, правила многостороннего использования леса, меры его охраны — вот задачи прикладной (народнохозяйственной) экологии в организации лесных хозяйств.

Применение экологических знаний в рыболовстве и рыбоводстве. Для любого вида животного существует оптимальный уровень его добычи, который обеспечивает максимальную прибыль без ущерба для популяции. Экологически правильная организация промысла требует соблюдения равновесия между количеством ежегодно вылавливаемой рыбы и той частью популяции, которая вступает в репродукционный период. Использование сведений о возрастном составе популяции рыб позволяет без ущерба для численности вида вылавливать и незрелых особей.

Превышение максимально возможной добычи приводит сначала к уменьшению размеров разового улова, а затем к перелову, т. е. к сокращению численности популяции. Понятно, что знание закономерностей изменения численности потомков очень важно для рациональной эксплуатации любой популяции животных.

Продуктивность рыбы в озерах и искусственных водоемах зависит от того, беден или богат водоем пищевыми ресурсами, от температуры воды, от вида рыб и от положения вида в цепи питания. Есть рыбы (например, лосось), которые обитают в холодных чистых водах, где кормовые запасы малы. Понятно, что продуктивность этого вида низка. Низка продуктивность также тех рыб, которые образуют четвертое или пятое звено в цепи питания. Пятое звено (например, щука) питается рыбой, которая, в свою очередь, поедает мелкую рыбу, кормящуюся зоопланктоном (маленькими беспозвоночными животными, обитающими в водоемах). Пищей ей служат водоросли. Как мы знаем, при переходе от одного звена пищевой цепи к другому звену энергия растрачивается и биомасса на каждом последующем уровне уменьшается. Именно поэтому продуктивность четвертого и пятого звеньев низка. Наибольшей продуктивностью обладают рыбы, которые кормятся водорослями и зоопланктоном, т. е. ближе всего стоят к продуцентам.

Знания пищевой цепи и кормовых запасов водоема помогают решить вопрос, каких рыб и в каком количестве целесообразно разводить в данных условиях и какая совокупность различных популяций будет наиболее эффективно использовать кормовые ресурсы.

Экология и космос. Одно из самых увлекательных приложений экологии — создание замкнутых искусственных экосистем для жизнеобеспечения человека во время длительных исследований внеземной среды. В замкнутой искусственной экосистеме происходит круговорот веществ, который можно регулировать биологическими механизмами. Фотосинтез водорослей или наземных растений — «космический огород» — обеспечивает утилизацию углекислого газа и снабжение человека кислородом. Короткая цепь редуцентов (микроорганизмов) минерализует все отходы человеческого организма. Освободившиеся минеральные вещества и вода используются «космическим огородом», поставляющим пищу для космонавтов. Такие экспериментальные закрытые экосистемы уже созданы, и длительные испытания показали их надежность.

Разработки подобных систем чрезвычайно важны не только для космоса, но и, прежде всего, для Земли, так как это идеальные безотходные системы. Принципы их организации войдут в технологию безотходных производств.

▶ Экологические знания находят широкое применение в практической деятельности человека. Докажите это. Какие проблемы решает экология?

○ Повторите § 10.

Глава XVI. БИОСФЕРА. ОХРАНА БИОСФЕРЫ

За миллиарды лет лик Земли сильно изменился. Установлено, что эволюция земной поверхности особенно быстро протекала со времени возникновения жизни. Геохимическая роль жизни проявляется в поддержании в равновесном состоянии газового состава атмосферы, состава морских и пресных вод, во влиянии на климат и плодородие почв.

Вмешательство человека в систему поддержания равновесия приводит к катастрофическим последствиям, меняющим облик нашей планеты.

§ 73. СОСТАВ И ФУНКЦИИ БИОСФЕРЫ

Совокупность всех биогеоценозов (экосистем) Земли представляет собой большую экологическую систему — *биосферу*. Биогеоценозы являются элементарной структурой биосферы.

Компоненты биосферы. Биосфера состоит из живого и неживого компонентов. Совокупность всех живых организмов нашей



ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ ВЕРНАДСКИЙ (1863—1945) — отечественный естествоиспытатель, философ, минералог, основоположник биогеохимии и учения о биосфере.

планеты образует *живое вещество биосферы.* Основная масса живых организмов сосредоточена на границе трех геологических оболочек Земли: газообразной (атмосфера), жидкой (гидросфера) и твердой (литосфера). К неживым компонентам относится та часть атмосферы, литосферы и гидросферы, которая связана сложными процессами миграции веществ и энергии с живым веществом биосферы. Границы жизни на планете являются одновременно и границами биосферы. Таким, образом, *биосфера — часть геологических оболочек Земли, заселенная живыми организмами.*

Учение о биосфере было создано выдающимся советским ученым В. И. Вернадским. Он показал, что биосфера отличается от других сфер Земли тем, что в ее пределах проявляется геологическая деятельность всех живых организмов. Живые организмы, преобразуя солнечную энергию, являются мощной силой, влияющей на геологические процессы. Специфическая черта биосферы как особой оболочки Земли — непрерывно происходящий в ней круговорот веществ, регулируемый деятельностью живых организмов. Так как биосфера получает энергию извне — от солнца, ее называют *открытой системой.*

Начальный этап миграции веществ и энергии в биосфере — преобразование энергии солнечного излучения автотрофными организмами в процессе фотосинтеза. Поэтому, согласно учению В. И. Вернадского, живые организмы, обитающие на Земле, представляют собой сложную систему преобразования энергии солнечных лучей в энергию геохимических процессов. Живые организмы, регулируя круговорот веществ, служат мощным геологическим фактором, преобразующим поверхность нашей планеты.

Функции живого вещества. Живое вещество выполняет в биосфере следующие биогеохимические функции: *газовую* — поглощает и выделяет газы; *окислительно-восстановительную* — окисляет, например, углеводы до углекислого газа и восстанавливает его до углеводов; *концентрационную* — организмы-концентраторы накап-

ливают в своих телах и скелетах азот, фосфор, кремний, кальций, магний. В результате выполнения этих функций живое вещество биосферы из минеральной основы создает природные воды и почвы, оно создало в прошлом и поддерживает в равновесном состоянии атмосферу. При участии живого вещества идет процесс выветривания, и горные породы включаются в геохимические процессы.

Газовая и окислительно-восстановительная функции живого вещества тесно связаны с процессами фотосинтеза и дыхания. В результате биосинтеза органических веществ автотрофными организмами было извлечено из древней атмосферы огромное количество углекислого газа. По мере увеличения биомассы зеленых растений изменялся газовый состав атмосферы — уменьшалось содержание углекислого газа и увеличивалась концентрация кислорода. Весь кислород атмосферы образован в результате процессов жизнедеятельности автотрофных организмов. Живое вещество качественно изменило газовый состав атмосферы — геологической оболочки Земли. В свою очередь, кислород используется организмами для процесса дыхания, в результате чего в атмосферу вновь поступает углекислый газ. Таким образом, живые организмы создали в прошлом и поддерживают миллионы лет атмосферу нашей планеты. Увеличение концентрации кислорода в атмосфере планеты повлияло на скорость и интенсивность окислительно-восстановительных реакций в литосфере.

Многие микроорганизмы непосредственно участвуют в окислении железа, что приводит к образованию осадочных железных руд, или восстанавливают сульфаты, образуя биогенные месторождения серы.

Несмотря на то что в состав живых организмов входят те же химические элементы, соединения которых образуют атмосферу, гидросферу и литосферу, организмы не повторяют полностью химического состава среды. Живое вещество, активно выполняя концентрационную функцию, выбирает из среды обитания те химические элементы и в том количестве, которые ему необходимы. Благодаря осуществлению концентрационной функции живые организмы создали многие осадочные породы, например залежи мела и известняка.

Таким образом, живое вещество биосферы, выполняя геохимические функции (газовую, концентрационную, окислительно-восстановительную), создает и поддерживает компоненты биосферы.

1. Сравните биосферу с другими оболочками Земли. В чем заключается ее своеобразие?
2. Докажите, что биосфера — открытая система.
3. Приведите примеры влияния биосферы на другие оболочки Земли. Влияют ли изменения, происходящие в атмосфере, литосфере и гидросфере, на биосферу? Ответ обоснуйте.

§ 74. КРУГОВОРОТ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В биосфере, как и в каждой экосистеме, постоянно осуществляется круговорот углерода, азота, водорода, кислорода, фосфора, серы и других химических элементов.

Круговорот углерода. Углекислый газ поглощается растениями-продуцентами и в процессе фотосинтеза преобразуется в углеводы, белки, липиды и другие органические соединения. Эти вещества с пищей используют животные-консументы. Одновременно с этим в природе происходит обратный процесс. Все живые организмы дышат, выделяя углекислый газ, который поступает в атмосферу. Мертвые растительные и животные остатки и экскременты животных разлагаются (минерализуются) микроорганизмами-редуцентами. Конечный продукт минерализации — углекислый газ — выделяется из почвы или водоемов в атмосферу. Часть углерода накапливается в почве в виде органических соединений (рис. 100).

В морской воде углерод содержится в виде угольной кислоты и ее растворимых солей, но накапливается он в форме карбоната кальция $CaCO_3$ (мел, известняки, кораллы). Часть углерода в виде карбонатов надолго исключается из круговорота, образуя осадки на дне водоемов. Однако с течением времени в процессах горообразования осадочные массы поднимаются на поверхность в виде горных пород. В результате химических преобразований этих пород углерод карбонатов вновь вовлекается в круговорот. Углерод поступает в атмосферу также с выхлопными газами автомашин, с дымовыми выбросами заводов и фабрик.

В процессе круговорота углерода в биосфере образуются энергетические ресурсы — нефть, каменный уголь, горючие газы, торф и древесина, которые широко используются человеком. Все эти вещества произведены фотосинтезирующими растениями за разное время. Возраст лесов — десятки и сотни лет; торфяников — тысячи лет; угля, нефти, газов — сотни миллионов лет. Следует учитывать, что древесина и торф — восполнимые ресурсы, т. е. воспроизводящиеся за относительно короткие промежутки времени, а нефть, горючий газ и уголь — ресурсы невосполнимые. Ограниченность и невосполнимость органического топлива ставят перед человеком сложную задачу овладения новыми источниками энергии — тепловой энергией земных недр, энергией ветра и океанических приливов и, разумеется, энергией Солнца.

Круговорот азота. Азот — незаменимый элемент. Он входит в состав белков и нуклеиновых кислот. Круговорот азота тесно связан с круговоротом углерода. Частично азот поступает из атмосферы благодаря образованию оксида азота (IV) из азота и кислорода под действием электрических разрядов во время гроз. Однако основная масса азота поступает в воду и почву благодаря фиксации азота воздуха живыми организмами.

В почве и воде живут фиксаторы азота — бактерии и водоросли. Они обогащают почву азотом, когда их отмершие клетки минерализуются. Благодаря этому ежегодно поступает около 25 кг азота на

Рис. 100. Круговорот углерода

Рис. 101. Круговорот азота

гектар. Самые эффективные фиксаторы азота — клубеньковые бактерии, живущие в корнях бобовых растений (рис. 101). Азот из разнообразных источников поступает к корням растений, поглощается ими и транспортируется в стебли и листья, где в процессе биосинтеза строятся белки.

Белки растений служат основой азотного питания животных. После отмирания организмов белки под действием бактерий и грибов разлагаются с выделением аммиака. Аммиак частично потребляется растениями, а частично используется бактериями-редуцентами. В результате процессов жизнедеятельности некоторых бактерий аммиак превращается в нитраты. Нитраты, как и аммонийные ионы, потребляются растениями и микроорганизмами. Часть нитратов под действием особой группы бактерий восстанавливается до элементарного азота, который выделяется в атмосферу. Так замыкается круговорот азота в природе.

1. Какова роль продуцентов, консументов и редуцентов в круговороте углерода?
2. Почему перед человечеством стоит проблема овладения новыми источниками энергии?
3. Как связаны организмы со средой в процессах круговорота азота?
4. Что произойдет, если в круговоротах углерода и азота редуценты перестанут функционировать?

§ 75. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БИОСФЕРЕ

Роль живых организмов в создании осадочных пород. Первым этапом образования осадочных пород является выветривание горных пород, которое всегда сопровождается процессами их растворения. Просачиваясь по трещинам скал, вода растворяет породы и уносит с собой растворенные элементы. Растворяющая способность природной воды зависит от ее газового и солевого составов. Содержание газов и солей в природных водах является результатом взаимодействия с живым веществом и почвами. Таким образом происходит растворение горных пород, которое косвенно определяется деятельностью живых организмов.

Живые организмы оказывают на породу и прямое разрушающее действие. Например, корни растений, проникая в трещины, раздвигают куски породы, что способствует проникновению воды и усилению процессов растворения горных пород. Лишайники, поселяющиеся на скалах, выделяют органические кислоты и разрушают минералы химически. Горные породы начинают крошиться и механически разрушаться. Таким образом образуется осадочная горная порода.

По своему происхождению все осадочные породы делятся на обломочные, химические и органические. Последние созданы живыми организмами. Из накоплений известковых скелетов организмов в водоемах образуются известняки. Ежегодно 10^8 т кальция

отлагается в виде известняка на дне водоемов планеты. Эту громадную работу производят организмы, обитающие на всех глубинах и по всей площади морей и океанов. При жизни они накапливают кальций в скелетах, панцирях, раковинах, которые после гибели организмов опускаются на дно. Основные концентраторы (накопители) кремния — одноклеточные диатомовые водоросли и простейшие — радиолярии. Отложения панцирей этих организмов создают диатомовые и радиоляриевые илы, покрывающие сотни тысяч квадратных километров морского дна.

Таким образом, на геологические процессы формирования литосферы непосредственно влияет живое вещество биосферы.

Роль живых организмов в создании почвы. Почва — это особое природное тело, образующее верхнюю рыхлую оболочку земной коры и обладающее свойством плодородия. Почва образуется из продуктов разрушения поверхностных слоев горных пород под воздействием растений, микроорганизмов и животных. Растения, поглощая из атмосферы углекислый газ, а из почвы азот, калий и другие биологически важные элементы, строят сложные органические соединения. Растения частично поедаются животными, а в основной массе отмирают. В виде мертвых корней, надземных растительных остатков, трупов и экскрементов животных органические соединения поступают в почву. Вся масса отмерших остатков организмов, накопившаяся в результате жизнедеятельности растений и животных, служит источником существования микроорганизмов, населяющих почву.

Под действием микроорганизмов, осуществляющих окислительную функцию, органические вещества минерализуются, превращаясь в углекислый газ, воду, аммиак, органические кислоты и другие вещества. Органические соединения, образующиеся на первых стадиях минерализации, являются энергетическим материалом для других групп микроорганизмов. Так идет многоступенчатая реакция минерализации. Сами микроорганизмы с течением времени отмирают, их тела также либо полностью минерализуются, либо распадаются на соединения, содержащие азот. Из этих соединений и других промежуточных продуктов образуется особое органическое вещество почвы — гумус (перегной). Чем богаче почва гумусом, тем она плодороднее. Но и гумус со временем разрушается под действием микроорганизмов. Таким образом, живые организмы входят в состав почвы и управляют процессами, происходящими в ней.

1. В чем заключается биологическая роль живых организмов в создании почвы?
2. Как проявляется концентрационная функция живого вещества в образовании осадочных пород?
3. Какое влияние на создание современной атмосферы оказали живые организмы?

Глава XVII. ВЛИЯНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА БИОСФЕРУ

Человек — элемент биосферы. Все жизненные ресурсы — воздух, пищу, воду и значительную часть энергетических и строительных ресурсов — он получает из биосферы. В биосферу же человек сбрасывает и отходы — бытовые и промышленные. Долгое время такой тип человеческой деятельности не нарушал равновесия биосферы. Однако в последнее столетие, расширяя промышленную деятельность, человечество активно вторглось в живой мир Земли. В результате этого вторжения возникли острые проблемы: истощение природных ресурсов, гибель ряда видов растений и животных, загрязнения и отравления среды промышленными и бытовыми отходами, ядохимикатами, разрушения естественных экосистем (озер, лесов). Все неблагоприятные изменения в биосфере воздействуют как на животный и растительный мир, так и на человека.

Загрязнители попадают в почву и водоемы, накапливаются в тканях растений и животных, а через них — в организме человека. Различные химические вещества часто усиливают мутационный процесс у человека. Понятно, что это может приводить к возникновению различных врожденных и наследственных аномалий. Поэтому защита от загрязнений приобретает глобальное значение для нас самих и наших потомков.

Часто недостаточные экологические знания приводят к непредвиденным последствиям изменения окружающей среды. Это не означает, что человек не может разумно использовать природу. Но нужно, чтобы природные ресурсы использовались рационально, чтобы были глубоко проанализированы все возможные экологические и социальные последствия осуществления тех или иных технических проектов.

§ 76. ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА — НОВЫЙ ФАКТОР В БИОСФЕРЕ

Климатические изменения. В связи с нарастающим антропогенным прессом на гидросферу и атмосферу в биосфере начались климатические сдвиги. Как говорят специалисты, наибольшее влияние в течение ближайших десятилетий будет оказывать накопление углекислого газа в атмосфере. Используя органическое топливо, человек сжигает кислород и увеличивает концентрацию CO_2 в атмосфере.

Накопление углекислого газа вызывает парниковый эффект, который выражается в повышении температуры у поверхности Земли. За последние 100 лет средняя температура у поверхности Земли возросла на 0,5—0,6° С.

Изменение климата отражается в нарастающем опустынивании, таянии ледников и повышении уровня Мирового океана.

Нарушение озонного слоя. Озон содержится во всех слоях атмосферы. Максимальных величин его концентрация достигает на высоте 20—25 км над поверхностью Земли. Слой атмосферы с наибольшим количеством этого вещества называется *озонным*. Роль озонного слоя для биосферы исключительная: он поглощает, не пропуская к поверхности Земли, ультрафиолетовое излучение, смертоносное для живых организмов.

Уже ряд лет отмечается ослабление озонного слоя, что связано с попаданием в верхние слои атмосферы оксида азота (II) и фреонов. Фреоны широко применяются как распылители лаков, красителей и в качестве хладогентов в холодильниках и кондиционерах.

В самые последние годы проявилось новое тревожное явление — утечка озона и образование «озонной дыры» над Антарктикой. Возникла необходимость принятия мер по защите озонного слоя. В 1987 г. 50 стран подписали в Монреале соглашение, предусматривающее снижение производства фреонов на 50% (в 1988 г.).

Загрязнение атмосферы. Загрязнение атмосферы идет в результате выброса промышленными предприятиями и транспортом химических соединений (особенно сернистого газа), частиц углерода и тяжелых металлов (свинец, медь, хром, кадмий, никель и др.). В атмосферу ежегодно поступают сотни миллионов тонн загрязнений. Особую тревогу вызывает загрязнение воздуха сернистым газом, порождающее кислотные дожди. Последствия кислотных дождей для биосферы исключительно тяжелые. Они превращают озера, реки и пруды в безжизненные водоемы, уничтожая сообщества животных и растений. Кислотные дожди — одна из главных причин гибели лесов.

Состояние водных систем. За последние 40 лет оказались разрушенными водоемы и водоносные системы многих стран мира. Отмечается истощение подземных вод. Бесконтрольное потребление воды для полива и промышленных предприятий, уничтожение водоохранных лесных массивов и осушение верховых болот привели к массовой гибели малых рек. Сокращается объем стока крупных рек.

В нашей стране наиболее сложной является проблема Аральского моря. Чрезмерное расширение поливных хлопковых площадей оказалось одной из причин его усыхания. Вода рек разбиралась на неконтролируемое орошение полей, поэтому не доходила до Арала. За последние годы высохли сотни естественных водоемов и озер Приаралья. Аридизация (опустынивание) и острый недостаток воды обусловили деградацию природных экосистем района.

Загрязнение водоемов отходами промышленности превращает их в сточные канавы. Обитатели рек и даже морей погибают под слоем нефтепродуктов, которые препятствуют поглощению кислорода из воздуха. Загрязненными оказались и океаны.

Выбросы нефти могут резко замедлить газовый обмен атмосферы с гидросферой, нарушить сложившиеся равновесные процессы, убить планктонные организмы океана, а вместе с ними — жизнь океанских глубин.

Смыв удобрений, сбросы отходов животноводства и канализационных вод приводят к загрязнению водоемов избыточными концентрациями азота и фосфора. Высокое содержание этих элементов стимулирует быстрый рост водорослей. Начинается «цветение» водоемов. После отмирания большой массы водорослей они быстро разлагаются. Запасы кислорода в воде истощаются. Обитатели водоемов начинают задыхаться без кислорода, в результате чего рыба гибнет.

Уничтожение лесов. На протяжении всего послевоенного времени наблюдается сведение лесов. Наибольшее беспокойство вызывает разрушение тропических лесов: в них сосредоточено 60% существующих видов и 70—90% исчезающих. Началось массовое заболевание и гибель лесов Европы и Северной Америки из-за глобального загрязнения атмосферы, вод и почв.

Самая большая беда наших лесов — заготовка древесины в огромных масштабах. Вследствие интенсивных рубок практически уничтожены хвойные леса Центральной России, исчерпаны резервы промышленных заготовок в западных районах, неуклонно сокращаются лесосырьевые ресурсы и сводятся леса в Сибири и на Дальнем Востоке.

Уничтожение лесов вызывает кардинальные изменения климатических условий, водного режима, состояния почв.

Состояние почв. На поверхности нашей планеты идет непрерывное уничтожение почвенного покрова. Если этот процесс не будет остановлен, то, по прогнозу ООН, к концу тысячелетия будет утрачено до трети земель.

Кроме эрозии[1] неблагоприятное воздействие на почву оказывает их полив при плохой системе дренажа. При неправильном регулировании режимов полива и сброса дренажных вод грунтовые воды, часто несущие соли, поднимаются к поверхности почв и засоляют ее верхние горизонты. Засоленные почвы непригодны для выращивания сельскохозяйственных культур и требуют очень больших затрат для их восстановления.

Проблемы энергетики. Для производства материальных благ необходима электрическая энергия. Ее получают на ТЭЦ, сжигающих природное топливо, на ГЭС, работающих на энергии падающей воды, и на АЭС — атомных электростанциях. Тепловые электростанции загрязняют атмосферу, при строительстве гидроэлектростанций под водохранилища заливаются плодороднейшие пойменные земли. До недавнего времени атомные электростанции считались наиболее экологически чистыми и перспективными источниками энергии.

Катастрофа в Чернобыле на АЭС привела к пересмотру взглядов общества на будущее атомных электростанций не только в нашей стране, но и во всем мире.

---

[1]Эрозия — потеря верхнего плодородного слоя почвы в результате его сноса текущими водами или ветром.

Основная задача в энергетике — меньше тратить энергии в любой технологической операции. Энергосберегающие технологии позволят производить меньше энергии, а следовательно, меньше загрязнять среду нашего обитания.

Цепные экологические реакции. Сложные взаимосвязи между отдельными компонентами биосферы и экосистем приводят к тому, что любое сильное воздействие человека на экосистемы вызывает цепь разнообразных и часто неожиданных последствий. На примерах можно показать, как разворачивается цепная экологическая реакция.

Огромные изменения внесены человеком в растительный покров Земли. Освобождая землю под пашни, города, дороги, человек вырубает лес. Уничтожение лесов при недостаточном количестве атмосферных осадков ведет к понижению уровня грунтовых вод, к обмелению рек, засухам, иссыханию почвы и к ветровой эрозии (разрушение почв).

Истребление лесов приводит к перераспределению водного стока. Дождевые и талые воды впитываются в лесу подстилкой: мхом, старыми опавшими листьями, перегноем, а затем — почвой. Почва постепенно насыщается водой. После насыщения вода медленно стекает по водоносным слоям почвы под уклоны в озера, болота, реки. Если же вода не задерживается подстилкой или корнями растений, то она мелкими струйками стекает по склону и смывает верхний слой почвы. По мере движения струйки сливаются в быстро текущие ручейки и ручьи, все сильнее размывающие почву. На поверхности земли появляются борозды, промоины, овраги, а снесенная почва вместе с водой поступает в реки. Реки несут воду в океан. В устьях рек, где течение замедляется, частички почвы оседают и постепенно заполняют русло. Устья рек разливаются и мелеют.

Перераспределение стока воды приводит к тому, что после снеготаяния основная масса воды поступает не в почву и грунтовые воды, а сбрасывается в моря. В результате уменьшаются запасы пресной воды, мелеют реки, ужесточаются засухи, снижаются урожаи.

1. Приведите известные вам примеры нерациональной деятельности человека в окружающей его среде.
2. Как вы считаете, правомерно ли утверждение «человек — разумная часть природы»? Выскажите ваше мнение по этому вопросу.

§ 77. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ОХРАНА БИОСФЕРЫ

Охрана природы — это прежде всего рациональное использование природных ресурсов. Цель рационального использования природных ресурсов двойная: с одной стороны, добиться сохранности природы во всем ее многообразии, с другой — обеспечить рост благосостояния народа.

Охрана природы и технология. Сохранение биосферы и человечества возможно лишь при переходе промышленности и сельского хозяйства к ресурсосберегающим технологиям. Важнейшими их чертами являются: 1. Возможно более полное использование извлекаемых природных ресурсов; 2. Повторное использование отходов производства и потребления; 3. Овладение чистыми источниками энергии (солнцем, кинетической энергией океана, термальным теплом, ветром); 4. Строгое ограничение выбросов в пределах норм.

Главным направлением современного развития промышленности должно стать создание безотходной технологии. Безотходная технология включает в себя комплексное использование сырья и создание производств с замкнутым циклом без сброса сточных вод и без выброса в атмосферу вредных веществ.

Охрана природы и сельское хозяйство. Одна из важнейших задач охраны природы — это борьба с эрозией почв. Здесь уже достигнуты определенные успехи благодаря применению специальной почвозащитной системы земледелия. На поверхности почвы после уборки урожая остается стерня, т. е. нескошенная часть соломы злаковых растений с корнями. Корни скрепляют почву и делают ее устойчивой к эрозии. При обычной системе земледелия используют плуг, который переворачивает пласт почвы. Стерня оказывается внизу, обнаженная поверхность пласта наверху, поэтому почва пласта легко развевается ветром. При защитной системе земледелия применяют специальный плоскорез, который лишь взрыхляет почву, не разрушая ее верхнего слоя. Стерня остается наверху и предохраняет почву от эрозии.

Освоение новых пахотных площадей возможно в случае применения экологически грамотных технологий орошения пустынных и осушения заболоченных территорий. Земли, испорченные горнодобывающей промышленностью (отвалы и угольные карьеры), теперь частично восстанавливаются. Карьеры засыпают землей или наполняют водой, отвалы разравнивают, покрывают слоем заранее сохраненной почвы, засаживают лесом или сельскохозяйственными культурами. «Промышленные пустыни» превращаются в зону отдыха горожан или в сельскохозяйственные угодья. Минеральные удобрения восстанавливают в почве тот запас элементов, который уходит с урожаем. Рациональное применение удобрений повышает урожай от 10 до 40%. Широкое внедрение биологических методов борьбы с вредителями сельского хозяйства позволяет снижать применение ядохимикатов.

1. Как вы считаете, можно ли вести хозяйственную деятельность, не изменяя природу? В чем, на ваш взгляд, заключается решение этой проблемы?
2. Какие мероприятия по охране природы проводятся в той местности, где вы живете? Какие мероприятия по охране природы можно провести в вашей местности?
3. Почему задачи охраны природы и рационального использования природных ресурсов совпадают?

4. Какое значение имеет охрана природы в сельском хозяйстве?
5. В чем заключается биологическое значение безотходной технологии?

§ 78. ЗАЩИТА ЖИВОГО МИРА. СОХРАНЕНИЕ ЭТАЛОНОВ И ПАМЯТНИКОВ ПРИРОДЫ

Охрана видов. Защита организмов, видов растений и животных, экосистем и ландшафтов важна как с биологической, так и с экономической и культурной точек зрения. Каждый ныне живущий вид есть продукт многовековой эволюции. Каждый вид обладает неповторимым генофондом. Хотя в определенных условиях хозяйственной деятельности многие виды могут наносить вред экономике, однако нельзя делить виды на вредные и полезные. Нет абсолютно вредных и абсолютно полезных видов. Тот вид, который вреден сегодня из-за нерегулируемого роста численности, может оказаться полезным завтра при условии регуляции его численности.

Культурные растения и животные в свое время были выделены из диких видов, обитающих в природе. Улучшение качества отобранных человеком организмов потребует в тот или иной момент дополнительного скрещивания домашних животных с их дикими сородичами, сохранившими свой генофонд. Эти дикие сородичи должны жить в своих сообществах, участвовать в межвидовой и внутривидовой борьбе, чтобы не потерять ценных свойств. Поэтому охрана мирового генетического фонда требует сохранения не только отдельных видов, но и целых сообществ со всем разнообразием их популяций. Сохранение такого генетического фонда сыграет основную роль в улучшении культурных растений и домашних животных. Не менее важно сохранение фонда ценнейших лекарственных растений. Наша задача — сохранить все виды живых организмов, сберечь все то замечательное видовое разнообразие, которое досталось человечеству как итог длительной эволюции жизни на Земле. Редкие виды растений и животных СССР вносят в «Красные книги» СССР и союзных республик. Внесенные в «Красные книги» редкие виды охраняются законами союзных республик, выработанными на основе общесоюзного законодательства.

Формы охраны эталонов и памятников природы. Для охраны природы существуют разнообразные формы: заповедники, заказники, микрозаповедники, памятники природы, резерваты лекарственных растений и т. д.

Биосферные заповедники организуют страны, принимающие участие в Международной программе «Человек и биосфера». В этих заповедниках ученые наблюдают за разнообразными природными процессами на неизмененных (или слабоизмененных) деятельностью человека территориях. Цель таких наблюдений — узнать, что происходит с экосистемами без вмешательства человека. Зная причины заболевания экосистем, можно найти и правильные методы их лечения.

Территории биосферных заповедников обширны, и в них сохраняется разнообразие экосистем, характерных для данной местности. В СССР имеется семь биосферных заповедников: лесные — Приокско-террасный на Оке и Березинский в Белоруссии; степной — Центрально-Черноземный около Курска; пустынный — Репетекский в Каракумах; горные — Кавказский, Сары-Челекский в Киргизии и Сихотэ-Алиньский в Сибири.

Заповедники создаются для того, чтобы сохранить в естественном состоянии природные объекты: типичные или редкие экосистемы, сообщества растений и животных, некоторые геологические образования, виды растений и животных. Территории заповедников полностью изъяты из хозяйственного использования. Здесь запрещается строить промышленные и сельскохозяйственные предприятия, добывать полезные ископаемые, рубить лес, косить сено, пасти скот, ловить рыбу, применять ядохимикаты и т. д.

Огромная роль в создании заповедников принадлежит В. И. Ленину. В начале 1919 г. он поддержал предложение о создании заповедника в дельте реки Волги, который в том же году и был создан. В 1920 г. В. И. Ленин подписал декрет Совнаркома об открытии Ильменского заповедника. В СССР имеется 159 заповедников общей площадью 20 млн. га. Во всем мире известны такие заповедники, как Аскания-Нова, Воронежский, Лапландский и др.

Заказники создаются для сохранения и ограниченного использования природных ресурсов. В ботанических заказниках, например, нельзя косить траву, рубить деревья, выпасать скот. В охотничьих заказниках отстрел животных разрешен лишь в определенные сезоны, на определенный срок и лишь в той мере, в какой не наносится вреда популяциям животных.

Памятники природы — это природные объекты, имеющие научное, историческое, культурное и эстетическое значение. К памятникам природы относят объекты как неживой природы (водопады, гейзеры, пещеры, валуны), так и живой (старые деревья, парки-памятники и музеи в природе).

Среди памятников природы большой популярностью пользуются деревья-памятники. Под охрану взяты известный дуб в Ясной Поляне, чинара «Семь братьев» под Ашхабадом, обхватить которую может лишь десяток людей, взявшись за руки. Такие деревья-долгожители огораживают, лечат, тщательно оберегают от поломок. Встречаясь с уникальными творениями природы, человек как бы соприкасается с событиями, давно ушедшими в глубину истории.

Об экологическом сознании. Сегодня вы учитесь, а завтра включитесь в производственную деятельность рабочими и инженерами, агрономами и животноводами, учителями и врачами, учеными и писателями. Каждый должен понимать, что сохранение и умножение богатств, данных нам природой, возможно, если человеческое общество, каждый человек в своей практической деятельности будет исходить из общей задачи сохранения биосферы.

Экологическое сознание означает понимание того, что биосфера, производство и общество — это единое целое, что биосфера —

это та система, которую легко нарушить и много труднее и дороже восстановить. Экологическое сознание означает чувство ответственности за природу перед обществом и перед самой природой, ибо человек — только один из ее элементов. Экологическое сознание не приходит сразу. Его надо воспитывать и развивать в себе и окружающих. При развитом чувстве ответственности за природу и заботливом отношении к ней технолог завода не сольет отходы в реку, а будет налаживать безотходное производство; работник лесной промышленности не будет вырубать лес у истоков и вдоль русел рек; геолог не будет бездумно торить тундру тысячами дорог на вездеходах, срывающих ее хрупкий растительный покров.

Должны научиться пользоваться природой и туристы: надо понять, что неаккуратное разведение костров и неумение пользоваться огнем может привести к гибели больших массивов леса. При высоком экологическом сознании не будет места и браконьерству.

В наше время новое мышление отражается и в отношении к природе. Спасение природы стало одним из категорических условий сохранения жизни на Земле. Мы должны вводить мировые стандарты, активно участвовать в международном экологическом сотрудничестве. Законодательно закрепить порядок строжайшей научной экспертизы и учета общественного мнения при решении вопросов, связанных с размещением новых производств.

Учение В. И. Вернадского о ноосфере. Понятие о ноосфере (греч. «ноос» — разум и «сфера» — шар) впервые было дано в начале XX в. Ноосфера вначале представлялась как своеобразная «мыслящая» оболочка Земли, которая, зародившись в конце третичного периода, разворачивается над растительным и животным миром — вне биосферы. В. И. Вернадский переосмыслил содержание этого понятия в соответствии со своим учением о биосфере. *Ноосфера,* по В. И. Вернадскому, — *биосфера, преобразованная трудом человека и измененная научной мыслью.*

Биосфера, как утверждал В. И. Вернадский, должна закономерно перейти в ноосферу, поскольку, познавая законы природы и развивая технику, человечество должно придать ей черты новой, более высокой организованности. При этом человечество становится мощной силой, сравниваемой по воздействию с геологической силой. В связи с этим следует помнить, писал В. И. Вернадский, что человек «как и все живое, может мыслить и действовать в планетном аспекте только в области жизни — в биосфере, в определенной земной оболочке, с которой он неразрывно связан и уйти из которой не может. Его существование есть ее функция».

Осознав огромную ценность жизни в биосферных рамках, катастрофические последствия ее преобразования, человек должен проникнуться экологическим мышлением и перейти к равноправному сотрудничеству с природой. При решении любых проблем прежде всего должен возникать вопрос: что это даст для сохранения и укрепления жизни? При отрицательном ответе всякое действие должно пресекаться и все усилия должны направляться на поиск альтернативных решений.

1. Какова цель охраны дикой природы?
2. Считаете ли вы достаточной мерой для охраны природы создание заповедников и заказников? Ответ обоснуйте.
3. Назовите местные виды растений и животных вашего края, которые занесены в «Красную книгу».
4. Какие меры принимаются в нашей стране по охране и рациональному использованию природы?

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа № 1

Тема: строение растительной, животной, грибной и бактериальной клеток под микроскопом

Цель: закрепить умение готовить микропрепараты и рассматривать их под микроскопом, находить особенности строения клеток различных организмов, сравнивать их между собой.

Оборудование: микроскопы, предметные и покровные стекла, стаканы с водой, стеклянные палочки, лук репчатый, разведенные дрожжи, культура сенной палочки, микропрепараты клеток многоклеточных животных.

Ход работы

1. Приготовьте микропрепараты кожицы лука, дрожжевых грибов, бактерии сенной палочки. Под микроскопом рассмотрите их, а также готовый микропрепарат клеток многоклеточного организма.

2. Сопоставьте увиденное с изображением объектов на таблицах. Зарисуйте клетки в тетрадях и обозначьте видимые в световой микроскоп органоиды.

3. Сравните между собой эти клетки. Ответьте на вопросы: в чем заключается сходство и различие клеток? Каковы причины сходства и различия клеток разных организмов? Попытайтесь объяснить, как шла эволюция бактерий, животных, растений, грибов.

Лабораторная работа № 2

Тема: плазмолиз и деплазмолиз в клетках кожицы лука

Цель: сформировать умение проводить опыт по получению плазмолиза, закрепить умения работать с микроскопом, проводить наблюдение и объяснять полученные результаты.

Оборудование: микроскопы, предметные и покровные стекла, стеклянные палочки, стаканы с водой, фильтровальная бумага, раствор поваренной соли, репчатый лук.

Ход работы

1. Приготовьте препарат кожицы лука, рассмотрите клетки под микроскопом. Обратите внимание на расположение цитоплазмы относительно клеточной оболочки.

2. Удалите с микропрепарата воду, приложив фильтровальную бумагу к краю покровного стекла. Нанесите на предметное стекло каплю раствора поваренной соли. Наблюдайте за изменением положения цитоплазмы.

3. Фильтровальной бумагой удалите раствор поваренной соли. Капните на предметное стекло 2—3 капли воды. Наблюдайте за состоянием цитоплазмы.

4. Объясните наблюдаемое явление. Ответьте на вопросы: куда двигалась вода (в клетки или из них) при помещении ткани в раствор соли? Чем можно объяснить такое направление движения воды? Куда двигалась вода при помещении ткани в воду? Чем это объясняется? Как вы думаете, что бы могло произойти в клетках, если бы их оставили в растворе соли на длительное время? Можно ли использовать раствор соли для уничтожения сорняков?

Лабораторная работа № 3 (в двух вариантах)

Тема: каталитическая активность ферментов в живых тканях

Цель: сформировать знания о роли ферментов в клетках, закрепить умение работать с микроскопом, проводить опыты и объяснять результаты работы.

Вариант I

Оборудование: свежий 3%-ный раствор пероксида водорода, пробирки, пинцет, ткани растений (кусочки сырого и вареного картофеля) и животных (кусочки сырого и вареного мяса или рыбы), песок, ступка и пестик.

Ход работы

1. Приготовьте пять пробирок и поместите в первую пробирку немного песка, во вторую — кусочек сырого картофеля, в третью — кусочек вареного картофеля, в четвертую — кусочек сырого мяса, в пятую — кусочек вареного мяса. Капните в каждую из пробирок немного пероксида водорода. Пронаблюдайте, что будет происходить в каждой из пробирок.

2. Измельчите в ступке кусочек сырого картофеля с небольшим количеством песка. Перенесите измельченный картофель вместе с песком в пробирку и капните туда немного пероксида водорода. Сравните активность измельченной и целой растительной ткани.

3. Составьте таблицу, показывающую активность каждой ткани при различной обработке.

4. Объясните полученные результаты. Ответьте на вопросы: в каких пробирках проявилась активность фермента? Объясните, почему. Как проявляется активность фермента в живых и мертвых тканях? Объясните наблюдаемое явление. Как влияет измельчение ткани на активность фермента? Различается ли активность фермента в живых тканях растений и животных? Как бы вы предложили измерить скорость разложения пероксида водорода? Как вы считаете, все ли живые организмы содержат фермент каталазу, обеспечивающий разложение пероксида водорода? Ответ обоснуйте.

Вариант II

Оборудование: микроскопы, предметное и покровное стекла, стаканы с водой, стеклянный палочки, пероксид водорода, лист элодеи.

Ход работы

1. Приготовьте препарат листа элодеи, рассмотрите его под микроскопом и зарисуйте несколько клеток листа.

2. Капните на микропрепарат пероксид водорода и снова наблюдайте за состоянием клеток.

3. Объясните наблюдаемое явление. Ответьте на вопросы: какой газ выделяется из клеток листа? Почему происходит его выделение?

4. Капните каплю пероксида водорода на предметное стекло, рассмотрите ее под микроскопом, опишите наблюдаемую картину. Сравните состояние пероксида водорода в листе элодеи и на стекле. Сделайте выводы.

Лабораторная работа № 4

Тема: морфологические особенности растений различных видов

Цель: обеспечить усвоение учащимися понятия морфологического критерия вида, закрепить умение составлять описательную характеристику растений.

Оборудование: живые растения или гербарные материалы растений разных видов.

Ход работы

1. Рассмотрите растения двух видов, запишите их названия, составьте морфологическую характеристику растений каждого вида, т. е. опишите особенности их внешнего строения (особенности листьев, стеблей, корней, цветков, плодов).

2. Сравните растения двух видов, выявите черты сходства и различия. Чем объясняются сходства (различия) растений?

Лабораторная работа № 5

Тема: изменчивость организмов

Цель: сформировать понятие изменчивости организмов, продолжить выработку умений наблюдать натуральные объекты, находить признаки изменчивости.

Оборудование: раздаточный материал, иллюстрирующий изменчивость организмов (растения 5—6 видов по 2—3 экземпляра каждого вида, наборы семян, плодов, листьев и др.).

Ход работы

1. Сравните 2—3 растения одного вида (или их отдельные органы: листья, семена, плоды и др.), найдите признаки сходства в их строении. Объясните причины сходства особей одного вида.

2. Выявите у исследуемых растений признаки различия. Ответьте на вопрос: какие свойства организмов обусловливают различия между особями одного и того же вида?

3. Раскройте значение этих свойств организмов для эволюции Какие, на ваш взгляд, различия обусловлены наследственной изменчивостью, какие — ненаследственной изменчивостью? Объясните, как могли возникнуть различия между особями одного вида.

Лабораторная работа № 6

Тема: приспособленность организмов к среде обитания

Цель: сформировать понятие приспособленности организмов к среде обитания, закрепить умение выявлять черты приспособленности организмов к среде обитания.

Оборудование: гербарные образцы растений или комнатные растения, чучела или рисунки животных различных мест обитания.

Ход работы

1. Определите среду обитания растения и животного, предложенного вам для исследования.

2. Выявите черты приспособленности к среде обитания.

3. Выявите относительный характер приспособленности.

4. На основании знаний о движущих силах эволюции объясните механизм возникновения приспособлений.

Лабораторная работа № 7

Тема: ароморфозы (у растений) и идиоадаптации (у насекомых)

Цель: сформировать умение выявлять ароморфозы и идиоадаптации у растений и животных, объяснять их значение.

Оборудование: гербарные материалы водорослей, мхов, папоротникообразных, цветковых растений, веточки сосны или ели, коллекции насекомых.

Ход работы

1. Рассмотрите растения: водоросль, мох, папоротник, веточку сосны или ели, цветковое растение — назовите имеющиеся у них органы.

2. Выявите черты усложнения в строении растений этих отделов и раскройте их значение. Определите, по какому направлению шла эволюция растений от водорослей до покрытосеменных.

3. Рассмотрите насекомых разных отрядов (чешуекрылые, прямокрылые, двукрылые и др.), выявите в их строении черты сходства и различия. Сделайте вывод о направлении эволюции насекомых.

4. Опишите идиоадаптации у насекомых рассматриваемых отрядов, раскройте их эволюционное значение.

Лабораторная работа № 8

Тема: фенотипы местных сортов растений

Цель: сформировать знания о модификационной изменчивости, умение описывать растения по фенотипу и сравнивать их между собой.

Оборудование: гербарные экземпляры различных сортов растений (пшеница, рожь, ячмень и др.).

Ход работы

1. Рассмотрите два экземпляра растений пшеницы (ржи, ячменя и др.) одного сорта. Сравните эти растения.

2. Опишите фенотип каждого растения (особенности строения листьев, стеблей, цветков). Выявите признаки, возникшие в результате модификационной изменчивости и обусловленные генотипом.

3. Раскройте причины модификационной изменчивости, ее значение.

Лабораторная работа № 9 (в двух вариантах)

Тема: изменчивость, построение вариационного ряда и вариационной кривой

Цель: познакомить учащихся со статистическими закономерностями модификационной изменчивости, выработать умение

строить вариационный ряд и график изменчивости изучаемого признака.

Вариант I

Оборудование: семена фасоли, бобов, колосья пшеницы, ржи, клубни картофеля, листья акации, клена (по 10 экземпляров одного вида на парту).

Ход работы

1. Рассмотрите несколько растений (семян, клубней, листьев и др.) одного вида, сравните их размеры (или подсчитайте количество листовых пластинок у листьев) или другие параметры. Данные запишите.

2. Полученные данные занесите в таблицу, в которой по горизонтали сначала расположите ряд чисел, отображающих последовательное изменение признака (например, число колосьев в колоске, размер семян, длина листовой пластинки), ниже — частоту встречаемости каждого признака. Определите, какие признаки встречаются наиболее часто, какие — редко.

3. Отобразите на графике зависимость между изменением признака и частотой его встречаемости.

4. Сделайте вывод о том, какая закономерность модификационной изменчивости вами обнаружена.

Вариант II

Оборудование: линейка или сантиметр.

Ход работы

1. Измерьте рост каждого школьника в классе с точностью до сантиметра, округлив цифры. Например, если рост составляет 165,7 см, запишите, что рост — 166 см.

2. Сгруппируйте полученные цифры, которые отличаются друг от друга на 5 см (150—155 см, 156—160 см и т. д.) и подсчитайте количество учеников, входящих в каждую группу. Полученные данные запишите:

Количество учащихся . . . 2
Рост, в см . . . . . .145—150

3. Постройте вариационный ряд изменчивости роста учеников, а также вариационную кривую, откладывая по горизонтальной оси рост учащихся в миллиметрах, а на вертикальной оси количество учащихся определенного роста.

4. Вычислите средний рост учеников вашего класса путем деления суммы всех измерений на общее число измерений.

5. Вычислите и отметьте на графике средний рост девочек и мальчиков.

6. Ответьте на вопросы: какой рост учеников в вашем классе встречается наиболее часто, какой — наиболее редко? Какие отклонения встречаются в росте учеников? Каков средний рост девочек и мальчиков в вашем классе? Каковы причины отклонений в росте?

УКАЗАТЕЛЬ ТЕРМИНОВ

Звездочкой отмечены страницы, на которых помещены рисунки

В

Г

Д

Ж

З

И

К

Р

С

Т

У

Ф

Х

ОГЛАВЛЕНИЕ

СВЕДЕНИЯ О ПОЛЬЗОВАНИИ УЧЕБНИКОМ

№	Фамилия и имя ученика	Учебный год	Состояние учебника	
			в начале года	в конце года
1.				
2.				
3.				
4.				

Учебное издание

Беляев Дмитрий Константинович, Рувинский Анатолий Овсеевич, Воронцов Николай Николаевич, Грунтенко Евгений Владимирович, Дымшиц Григорий Моисеевич, Керкис Юлий Яковлевич, Красновидова Светлана Сергеевна, Никоро Зоя Софрониевна, Салганик Рудольф Иосифович, Титлянова Аргента Антониновна, Христолюбова Нинель Борисовна

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Учебник для 10—11 классов
средней школы

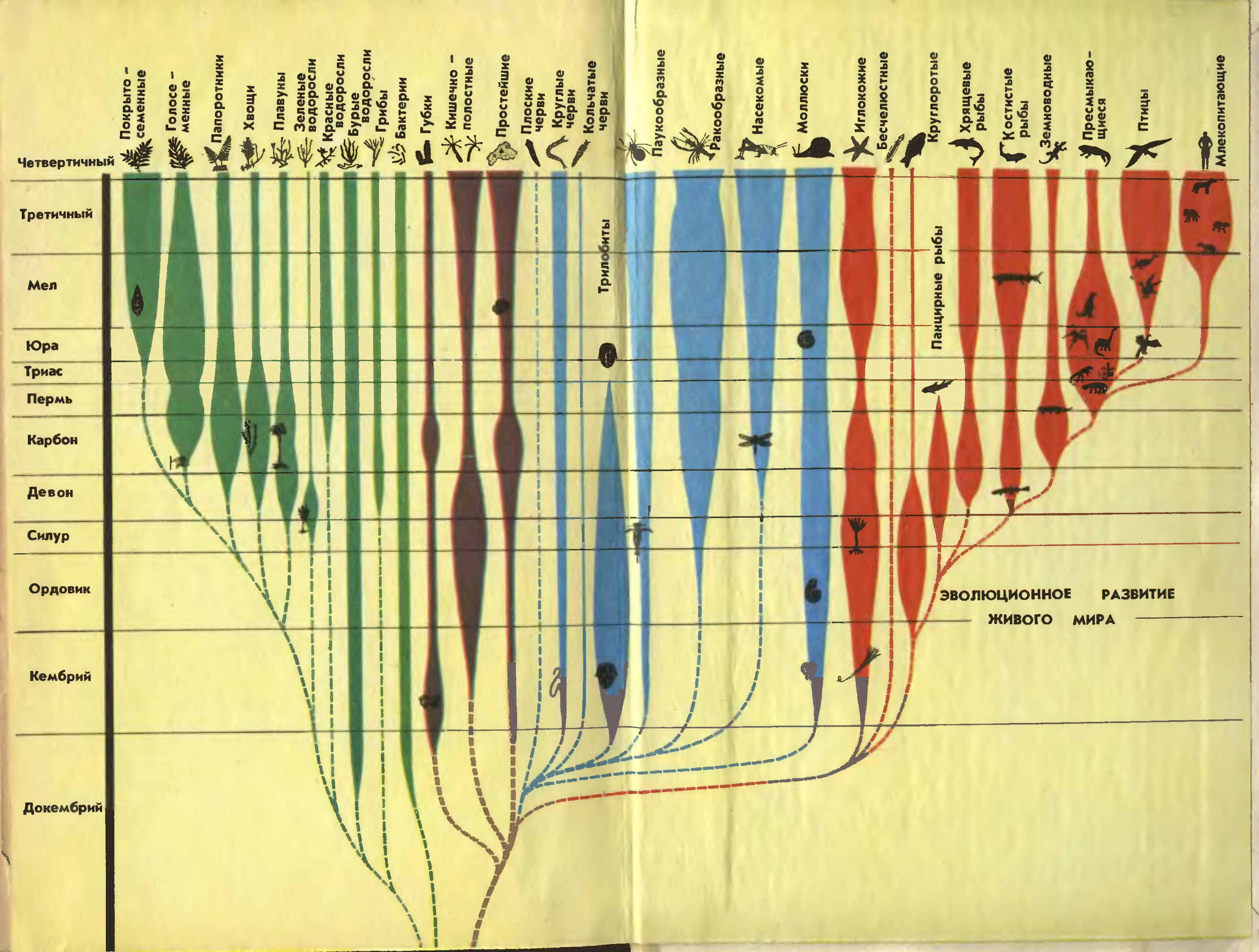
Зав. редакцией *В. И. Сивоглазов*
Редактор *Л. А. Приходько*
Художники *Б. А. Гомон, С. Ф. Лухин, В. Д. Овчининский, В. С. Юдин*
Слайды *А. Н. Бобровича*
Подбор иллюстраций осуществлен *Л. П. Зверевой*
Художественный редактор *Т. В. Бусарова*
Технические редакторы *Е. С. Юрова, Л. М. Абрамова*
Корректоры *И. А. Корогодина, И. В. Чернова*

ИБ № 13345

Сдано в иабор 15.06.90. Подписано к печати 17.12.90. Формат $60 \times 90^1/_{16}$. Бум. офсетная № 2. Гарнит. литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 17+0,25 форз. Усл. кр.-отт. 66,31. Уч.-изд. л. 18,62+0,42 форз. Тираж 1 130 000 экз. Заказ 334. Цена 1 руб. 60 коп. Цена с припрессовкой пленки 1 руб. 80 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Министерства печати и массовой информации РСФСР. 129846, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Тверской ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинат детской литературы им. 50-летия СССР Министерства печати и массовой информации РСФСР. 170040, Тверь, проспект 50-летия Октября, 46.



Покрыто-семенные
Голосе-менные
Папоротники
Хвощи
Плауны
Зеленые водоросли
Красные водоросли
Бурые водоросли
Грибы
Бактерии
Губки
Кишечно-полостные
Простейшие
Плоские черви
Круглые черви
Кольчатые черви
Паукообразные
Ракообразные
Насекомые
Моллюски
Иглокожие
Бесчелюстные
Круглоротые
Хрящевые рыбы
Костистые рыбы
Земноводные
Пресмыкаю-щиеся
Птицы
Млекопитающие
Четвертичный
Третичный
Мел
Юра
Триас
Пермь
Карбон
Девон
Силур
Ордовик
Кембрий
Докембрий
Трилобиты
Панцирные рыбы
ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ЖИВОГО МИРА